www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Jaargang 19, 1957, no. 3 blz. 65-108 Verschenen 22 mei 1957

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

„FRENA", EEN SYSTEEM VOOR OVERBRENGING VAN SPRAAK BIJ HOGE RUISNIVEAUS

door F. de JAGER en J. A. GREEFKES.

621.395.665.1

In de strijd tegen de ruis in de telecommunicatie wordt veelal ernaar gestreefd de kwaliteit van verbindingen te verbeteren, o.a. door middel van systemen als frequentiemodulatie, impulscodemodulatie en dergelijke. Voor mobiele installaties is de doelstelling vaak anders: men wil dan soms genoegen nemen met een zekere minimale kwaliteit, juist voldoende voor verstaanbare overbrenging van spraak, maar men wil deze overbrenging nog kunnen bewerkstelligen bij zeer hoge ruisniveaus, d.w.z. bij gering zendvermogen en/of op zeer grote afstand. Terwijl voor die kwaliteit normaal (bij eenzijbandmodulatie) het vermogen van de ruis niet meer dan 10% van het ontvangen signaalvermogen mag bedragen, is bij twee varianten van het experimentele systeem „Frena" de toelaatbare grens verhoogd tot 16% en 25%, bij een als „Frenac" aangeduide variant zelfs tot 40% van het signaalvermogen.

Inleiding

De steeds verder gaande ontwikkeling van de telecommunicatie kan gezien worden als een strijd tegen de altijd aanwezige ruis- en stoorspanningen. Deze storingen, die bij telefonieverbindingen in hoofdzaak bestaan uit overspreken en kabelruis, bij radio, televisie en radar uit atmosferische storingen, storingen door andere zenders en antenneruis, maken de ontvangst boven bepaalde afstanden onmogelijk: is het signaal dat de informatie draagt, zo zwak geworden dat het verdrinkt in de storingen, dan helpt aan de ontvangzijde ook versterking niet meer, daar de stoorspanning evenveel versterkt wordt als het signaal. In werkelijkheid is het zelfs nog erger, doordat de versterker zelf ook een bijdrage tot de storingen levert, met name door de ruis van de eerste versterkbuis.

Men kan de storingen van het transmissiemedium zoveel mogelijk trachten te reduceren, bij radioverbindingen of radar b.v. door het gebruik van gerichte antennes, bij telefonie over kabels door allerlei maatregelen tegen het overspreken. Ten slotte komt men dan echter tot een minimaal, praktisch niet te verlagen, storingsniveau. Iets dergelijks geldt voor de ruisbijdrage van de ontvanger. Men heeft deze door constructie van buizen met gunstige ruiseigenschappen sterk kunnen verminderen, en deze ontwikkeling is, vooral voor de buizen voor zeer hoge frequenties, nog geenszins afgesloten. Ook voor de ruis van de ontvanger echter komt men tot een, door fysische wetten bepaalde, onderste grens (o.a. samenhangend met de katode-eigenschappen). Bij een gegeven minimaal storingsniveau kan men nu de maximale afstand waarover transmissie mogelijk is (de dracht), afleiden uit twee factoren: het maximaal te realiseren zendvermogen, dat door economische of andere overwegingen wordt voorgeschreven, en de minimale signaal-ruisverhouding waarbij nog een bruikbare ontvangst mogelijk is.

Op dit laatste punt nu — de minimaal vereiste signaal-ruisverhouding — hebben een reeks ontwikkelingen aangegrepen die tot een vergroting van de overbrugbare afstanden leiden. We kunnen hierbij twee richtingen onderscheiden. Enerzijds heeft men systemen ontwikkeld waarmee de storingen in de frequentieband van het oorspronkelijke signaal in zekere mate verminderd worden en de signaal-ruisverhouding aan de uitgang dus verbeterd wordt, dank zij het toepassen van een aanzienlijk grotere bandbreedte in de transmissieweg. De overbrenging blijft hierbij lineair, d.w.z. het signaal wordt in principe niet vervormd, en men kan er elk soort informatie mee overbrengen, b.v. ook muziek. Anderzijds heeft men systemen van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

overbrenging ontwikkeld voor speciale soorten informatie, b.v. telegrafiesignalen of spraak, waarbij dank zij de specialisatie een storingsonderdrukking zonder aanzienlijke vergroting van de bandbreedte in de transmissieweg mogelijk is. Hiertoe kan gerekend worden de van ouds toegepaste signaalcorrectie in de telegrafie met morseseinen, die in een verfijnde vorm optreedt bij het T.O.R.-systeem voor telexverbindingen [1]); verder de voor bepaalde mobiele telefonie-installaties reeds lang gebruikelijke begrenzing van pieken van het spraaksignaal (die men kan opvatten als een zo nuttig mogelijk gebruiken van het beschikbare zendvermogen); en ten slotte ook het „Frena"-systeem met zijn varianten, dat in de laatste jaren in het Philipslaboratorium te Eindhoven is uitgewerkt en dat we hier zullen beschrijven. Dit systeem is eveneens in hoofdzaak bedoeld voor spraakoverbrenging met mobiele installaties (dus b.v. niet voor normale lijntelefonie); ter wille van de storingsonderdrukking wordt hierbij het lineaire karakter van de transmissie prijsgegeven.

Voor een goed begrip is het gewenst, eerst in het kort op de lineaire systemen in te gaan; in het bijzonder willen we de mate van ruisonderdrukking bespreken die met deze systemen kan worden verkregen. (We spreken verder alleen van storingen in de vorm van ruis, daar deze zich het best voor numerieke beschouwingen leent.)

Ruisonderdrukking in diverse systemen voor lineaire overbrenging

Tot de hier bedoelde ruisonderdrukkende systemen behoren in de eerste plaats frequentiemodulatie en impulsplaatsmodulatie, en verder de zg. gecodeerde systemen (impulscodemodulatie, deltamodulatie), waarbij de informatie wordt overgezonden door een serie impulsen van de grootte 0 of 1. De gecodeerde systemen bezitten speciaal gunstige eigenschappen bij communicatie via een groot aantal relaisverbindingen.

Het gemeenschappelijke van al deze systemen kunnen wij als volgt beschrijven. Het totale ruisvermogen is in elke transmissieweg evenredig met de bandbreedte. Bij een gegeven transmissieweg (waarbij steeds de, tot de ruis bijdragende, eerste ontvangertrap wordt meegerekend) en een gegeven zendvermogen heeft het bij optimale aanpassing ontvangen signaal een „intrinsieke" signaal-ruisverhouding, d.i. het ontvangen signaalvermogen gedeeld door het ruisvermogen van de transmissieweg *in een frequentieband ter breedte van het laagfrequente signaal*. In de beschouwde systemen nu wordt dit signaal aan de zendzijde door een bepaalde modulatiemethode omgezet in een signaal met veel bredere frequentieband. Aan de ontvangzijde wordt uit dit brede signaal door een bepaalde detectiemethode het smalle oorspronkelijke signaal teruggewonnen, terwijl van het grote ruisvermogen van die brede band slechts een fractie wordt meegedetecteerd, en wel zodanig dat de signaal-ruisverhouding aan de uitgang, die we de „effectieve" signaal-ruisverhouding kunnen noemen, groter is dan de intrinsieke.

De verbetering in de verhouding van signaalvermogen tot ruisvermogen die men in bovengenoemde systemen door een vergroting van de bandbreedte van de transmissieweg kan verkrijgen, is in principe zeer verschillend. Bij frequentiemodulatie en impulsplaatsmodulatie neemt de verbetering kwadratisch toe met de bandbreedte [2]), bij deltamodulatie ongeveer met de vijfde macht hiervan [3]), terwijl bij impulscodemodulatie de verbetering exponentieel met de bandbreedte toeneemt [4]). Een dergelijke toeneming is, gezien in het licht van de informatietheorie, ongetwijfeld de sterkste die men kan bereiken.

De hier genoemde verbeteringen gelden slechts zolang het ruisniveau in de transmissieweg (steeds inclusief de eerste buis van de ontvanger) niet al te hoog wordt. Er komt namelijk bij al deze systemen een moment waarop, bij een verdere toeneming van de ruis, hun specifieke detectiemethode door de ruis zodanig wordt gestoord dat vrijwel alle samenhang in het signaal verbroken wordt. Bij frequentiemodulatie is dit zeker het geval als de ruis zo sterk wordt dat de polariteit van de signalen op de ingang van de discriminator vaak het verkeerde teken heeft; bij de impulssystemen is dit het geval wanneer ten gevolge van de ruis extra-impulsen ontstaan. In verband hiermee kan men voor al deze systemen bij een gegeven ruisniveau een optimale bandbreedte van de transmissieweg aangeven. Bij een bandbreedte groter dan de optimale, verstoort de in dat geval grotere ruisspanning aan de ingang van de detector de nog aanwezige samenhang in het ontvangen signaal; bij een kleinere bandbreedte daarentegen wordt nog niet ten volle profijt getrokken van de ruisonderdrukkende eigenschappen van het systeem.

---

[1]) H. C. A. van Duuren, Typendruktelegrafie over radioverbindingen (T.O.R.), T. Ned. Radiogenootschap **16**, 53-67, 1951. Dit systeem werkt in principe aldus dat lettertekens automatisch nog eens worden uitgezonden wanneer ze niet goed ontvangen zijn.

[2]) S. Goldman, Frequency analysis, modulation and noise, McGraw-Hill, New York 1948.

[3]) F. de Jager, Deltamodulation, a method of p.c.m. transmission using the 1-unit code, Philips Res. Rep. **7**, 442-466, 1952.

[4]) S. Goldman, Information theory, Prentice-Hall, New York 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Zo vindt men voor elk systeem bij een gegeven intrinsieke signaal-ruisverhouding, $(S/N)_i$, een bepaalde maximale waarde voor de effectieve signaal-ruisverhouding aan de uitgang, S/N. Dit maximum kan alleen gerealiseerd worden bij gebruikmaking van de optimale bandbreedte; zie *fig. 1*, die voor frequentiemodulatie geldt. Bij een uitvoerige analyse van de bovengenoemde vier systemen, speciaal voor hoge ruisniveaus, bleek dat de vier krommen welke de in een directe verbinding theoretisch maximaal bereikbare signaal-ruisverhouding als functie van de intrinsieke signaal-ruisverhouding geven, in een groot gebied vlak bij elkaar liggen [5]). Of, anders gezegd: het ruisniveau waarbij het systeem het opgeeft (als men bepaalde eisen stelt), ligt voor al deze systemen ongeveer even hoog.

Deze situatie is weergegeven in *fig. 2*. Het verband tussen S/N en $(S/N)_i$ hangt voor elk der vier genoemde systemen af van de werkelijk gekozen bandbreedte, doch wegens de hierboven besproken optimumconditie liggen de te realiseren mogelijkheden steeds rechts van de getrokken kromme in fig. 2. Eist men b.v. een effectieve signaal-ruisverhouding van 30 dB, dan moet men een $(S/N)_i$ van ten minste 17 dB hebben, d.w.z. de ontvangst is dan slechts mogelijk op een zodanige afstand dat het ontvangen signaalvermogen 50× zo groot is als het ruisvermogen in de bandbreedte van het laagfrequente signaal. Ter vergelijking is in fig. 2 als streep-stip-lijn

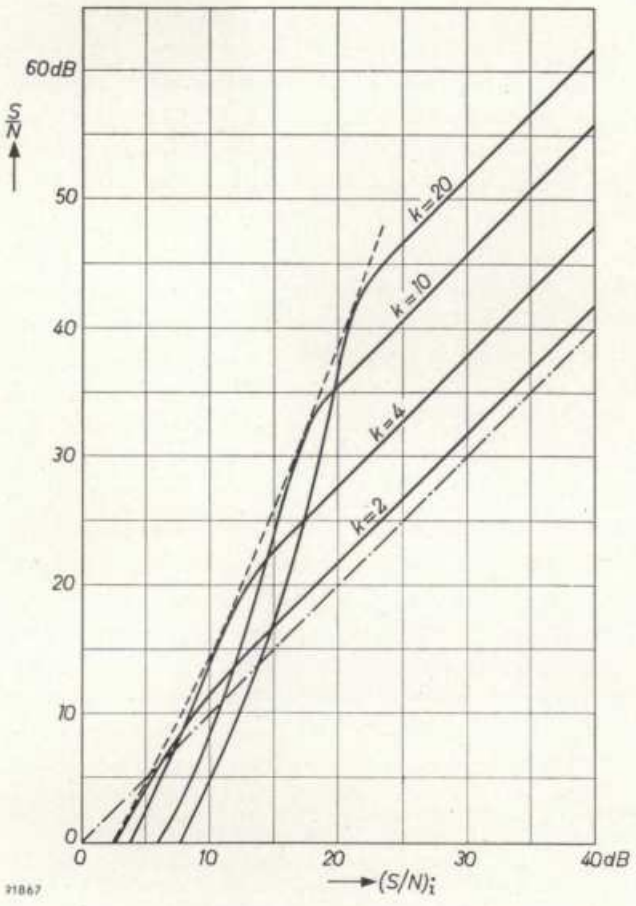


Fig. 1. Effectieve signaal-ruisverhouding S/N, verkregen bij transmissie met frequentiemodulatie, als functie van de „intrinsieke" signaal-ruisverhouding $(S/N)_i$ (volgens gegevens van F. L. H. M. Stumpers, Proc. Inst. Rad. Engrs. **36**, 1081-1092, 1948). De frequentieband voor de transmissie is k maal zo breed als die van het oorspronkelijke signaal. De krommen voor verschillende k snijden elkaar; er ontstaat aldus een omhullende (gestippeld), die het uiterste aangeeft van wat met frequentiemodulatie kan worden bereikt. De streep-stiplijn geldt voor de voor draaggolftelefonie gebruikelijke eenzijbandmodulatie, waarbij de effectieve signaal-ruisverhouding gelijk is aan de intrinsieke.

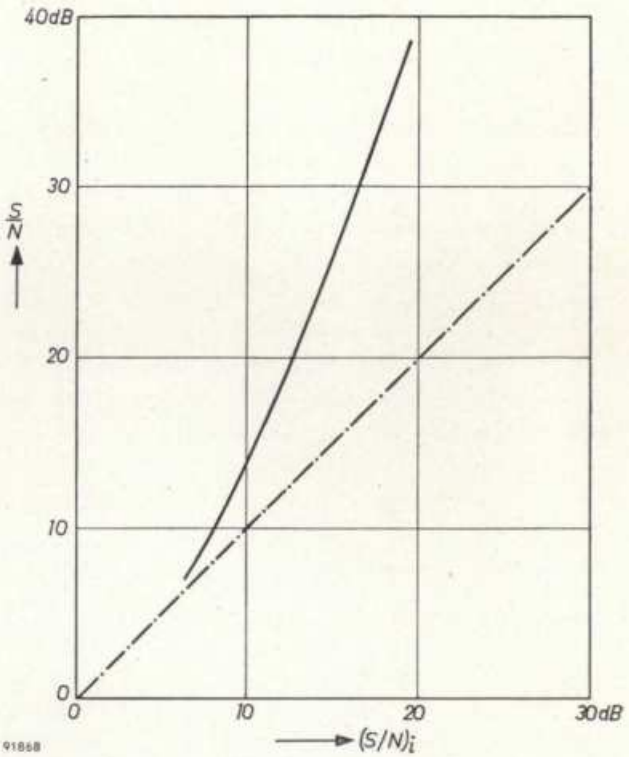


Fig. 2. Effectieve signaal-ruisverhouding S/N die maximaal kan worden bereikt met een der vier lineaire storingonderdrukkende systemen (frequentiemodulatie, impulsplaatsmodulatie, impulscodemodulatie, deltamodulatie), als functie van de intrinsieke signaal-ruisverhouding $(S/N)_i$. De kromme is een gemiddelde van de vier omhullenden, die men op de manier van fig. 1 voor de vier systemen heeft gevonden [5]).

De streep-stiplijn geldt weer voor eenzijbandmodulatie. De lijn die men voor de, in de omroep gebruikelijke, tweezijbandmodulatie kan berekenen, ligt nog aanzienlijk lager; bij $(S/N)_i = 6$ dB b.v. krijgt men daar $S/N = -1$ dB, het maximale signaalvermogen aan de uitgang is dan dus kleiner dan het gemiddelde ruisvermogen.

[5]) F. de Jager, Les limites théoriques de la transmission en cas de niveau de bruit élevé, pour différents systèmes de modulation continue et de modulation codée, Onde électrique **34**, 675-682, 1954. In deze publikatie beantwoordt het quotiënt C/E_0 aan de hier ingevoerde intrinsieke signaal-ruisverhouding $(S/N)_i$. — Het hier over de grenskrommen gezegde geldt alleen voor directe verbindingen, omdat bij verbindingen via een of meer relaisstations het cumuleren van de ruis bij het telkenmale her-uitzenden voor de vier systemen geheel verschillend geschiedt. Impulscodesystemen gedragen zich in dit opzicht veel gunstiger dan de andere: de verschuiving naar rechts, die de grenskromme ondergaat bij het relayeren via een of meer tussenstations, is voor impulscodemodulatie vrij gering, voor de andere systemen aanzienlijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

getekend het verband tussen S/N en $(S/N)_i$ voor het geval van de eenvoudige eenzijbandmodulatie, die normaal wordt toegepast in draaggolftelefonie [6]); de effectieve signaal-ruisverhouding is hierbij gelijk aan de intrinsieke. Voor $(S/N)_i = 17$ dB is dus bij eenzijbandmodulatie ook S/N slechts 17 dB. Bij zeer kleine waarden van $(S/N)_i$ daarentegen, beneden ca. 6 dB, blijkt dat men met eenzijbandmodulatie relatief nog het meeste bereikt: de andere systemen worden daar te veel gestoord, de grenskromme voor deze systemen snijdt in dit gebied de streep-stip-lijn. In de praktijk blijkt de verbetering door de vier lineaire systemen zelfs pas bij nog hogere waarden van $(S/N)_i$, boven ca. 10 dB, effectief te worden.

Hier komt een algemene in de telecommunicatie geldige wet naar voren, welke luidt: „Hoe beter de kwaliteit van een verbinding is bij relatief kleine ruisvermogens, hoe eerder deze verbinding onbruikbaar wordt bij een stijging van het ruisniveau". Deze wet ziet men ook geïllustreerd in fig. 1, waarin men de resultaten van frequentiemodulatie met verschillende bandbreedten kan vergelijken; de krommen die bij grote $(S/N)_i$ het hoogst oplopen, vertonen bij vermindering van $(S/N)_i$ het eerst hun steile daling. Aan het slot van dit artikel zal de lezer, bij vergelijking van diverse niet-lineaire systemen, de wet opnieuw bevestigd zien.

Systemen voor niet-lineaire overbrenging van spraak

Voor een nog enigszins bruikbare verbinding met eenzijbandmodulatie blijkt een signaal-ruisverhouding van ca. 10 dB nodig te zijn. Stel nu dat men in een bepaalde transmissie (gegeven transmissiemedium, zendvermogen en afstand) niet meer dan $(S/N)_i = 6$ dB zou kunnen bereiken. Een bruikbare ontvangst van spraak lijkt hierbij nauwelijks mogelijk. Immers, die waarde betekent dat het spraaksignaal tijdens de momenten van maximale sterkte (waarvoor het maximale zendvermogen wordt gebruikt) slechts ca. $2\times$ zo groot is als de ruisspanning, terwijl het spraaksignaal gedurende de vele passages waarin de sterkte slechts weinig van de gemiddelde afwijkt, geheel door de ruis wordt overstemd.

We hebben gezien dat de lineaire systemen hier geen verbetering kunnen brengen. Toch kan men bij signaal-ruisverhoudingen van 10 tot 5 dB, of zelfs nog minder, een bruikbare overbrenging van spraak realiseren, door gebruik te maken van de eigenaardigheden van de spraak en door de apparatuur daarbij aan te passen. Men komt zo tot systemen die weliswaar door de vervorming die zij met zich meebrengen, voor signalen als b.v. muziek ongeschikt zijn, doch spraak op nog min of meer bevredigende wijze kunnen overbrengen. Het belangrijkste criterium hiervoor is niet de vervormingsvrijheid of getrouwheid, zoals in de muziek, maar de verstaanbaarheid. Een vervorming van de spraak neemt men dan, bij de verbindingen die wij hier op het oog hebben, op de koop toe, ter wille van de vergroting van de dracht die men bij het werken met een kleinere signaal-ruisverhouding verkrijgt.

We noemden hier reeds als een dergelijk systeem het begrenzen van de spraak: de spanningspieken in de spraak worden afgesneden met behulp van een begrenzer, men kan daardoor met een grotere gemiddelde modulatiediepte werken, en de zwakke passages van de spraak komen dus hoger boven de ruis uit.

Bij andere systemen, die, evenals het begrenzen, reeds vóór 1940 in gebruik waren, tracht men de ruis te verzwakken door de ontvangst met behulp van mechanische of elektronische relais te onderbreken gedurende de tijden dat geen informatiesignaal ontvangen wordt. De opkom- en afvaltijden van dergelijke relaisschakelingen moeten natuurlijk ten nauwste samenhangen met de karakteristieke eigenschappen van spraak. Wij zullen hieronder zien dat „Frena" kan worden beschouwd als een verdergaan in deze richting, gebaseerd op de allengs beter bekend wordende eigenschappen van de spraak en op de kennis van wat men wel en wat men niet met een spraaksignaal mag doen.

Het Frena-systeem

In het Frena-systeem worden het frequentie- en het amplitude-gegeven van de spraak afzonderlijk overgezonden en aan de ontvangzijde weer gecombineerd (vandaar de naam, samengesteld uit *fre*[quentie] en *a*[mplitude]). Door de totaal verschillende eisen die men, wat betreft bandbreedte en signaal-ruisverhouding, aan het frequentie- en aan het amplitudekanaal moet stellen, is het mogelijk gebleken de signalen uit deze twee kanalen zo te combineren dat men met hetzelfde totale signaalvermogen een veel grotere ongevoeligheid voor storingen kan bereiken dan wanneer deze gegevens, zoals gebruikelijk, in één kanaal worden overgezonden.

Als inleiding tot dit systeem zouden we willen wijzen op de proeven van Licklider [7]) van 1948, waaruit het verrassende feit gebleken is dat zelfs bij een „volledige begrenzing" van het spraaksignaal

[6]) Zie b.v. Philips techn. T. **9**, 161-171, 1947.

[7]) J. C. R. Licklider en I. Pollack, Effects of differentiation, integration, and infinite peak clipping upon the intelligibility of speech, J. Acoust. Soc. Amer. **20**, 42-51, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

nog een redelijke verstaanbaarheid blijft bestaan. Bij volledige begrenzing worden de spraakamplitudes afgesneden tot op b.v. $1^0/_{00}$ van de pieken, zodat het amplitudegegeven volledig geëlimineerd is en alleen de informatie omtrent de ligging van de nuldoorgangen, die met de in de spraak optredende frequenties samenhangen, wordt overgezonden. De vervorming is hierbij uiteraard zeer groot, en de bij afwezigheid van spraak ten gevolge van de ruis optredende nuldoorgangen veroorzaken aan de uitgang een ruis van dezelfde grootte als het spraaksignaal, wat het luisteren naar een dergelijk volledig begrensd signaal beslist niet aangenaam maakt. Deze proeven illustreerden echter duidelijk de essentiële bijdrage die de ligging van de nuldoorgangen levert tot de informatie in de spraak: *de frequenties van de in de spraak optredende trillingen blijken voor de verstaanbaarheid veel belangrijker te zijn dan de amplitudes.* Dit heeft men kunnen bevestigen door proeven waarbij omgekeerd juist het amplitudeverloop nauwkeurig werd weergegeven, terwijl de informatie in de nuldoorgangen werd geëlimineerd door deze af te leiden uit een ruisgenerator. In dit geval was de verstaanbaarheid nihil.

Het Frena-systeem sluit aan op deze proeven van Licklider, alleen zijn twee essentiële verbeteringen ingevoerd om de vervorming binnen redelijke perken te houden. Ten eerste wordt de volledige begrenzing niet toegepast op het laagfrequente signaal zelf, doch op het eenzijbandsignaal dat men verkrijgt door verschuiving van het laagfrequente signaal, bij voorbeeld naar het frequentiegebied van 50 kHz. In zulk een eenzijbandsignaal kan men, evenals in het laagfrequente signaal, de informatie niet alleen terugvinden in het amplitudeverloop doch ook in de ligging van de nuldoorgangen. Wordt nu de amplitude volledig begrensd, dan blijft de informatie in de nuldoorgangen behouden. Het voordeel van begrenzing van het eenzijbandsignaal boven begrenzing van het laagfrequente signaal is daarin gelegen dat men in het eerste per seconde een veel groter aantal nuldoorgangen aantreft en dat hierdoor de verschuivingen van deze nuldoorgangen veel geleidelijker plaatshebben dan de verschuivingen van die van het laagfrequente signaal.

De situatie is min of meer analoog aan de werking van een normale amplitudedetector: bij een gemoduleerde draaggolf waarvan de frequentie aanzienlijk hoger is dan de frequenties die voorkomen in de omhullende, kan men het verloop van de omhullende tot in de finesses volgen; wordt echter de frequentie van de draaggolf sterk verlaagd, dan treedt bij het detecteren van de omhullende een grote vervorming op. Men kan ook zeggen dat de begrenzer — die in wezen een niet-lineair element is — sterke hogere harmonischen zal veroorzaken, die bij een laagfrequent ingangssignaal in de gewenste band zelf terechtkomen, bij een eenzijbandsignaal als ingangssignaal echter ver naast deze band vallen en daardoor gemakkelijk uitgefilterd kunnen worden.

Als tweede verbetering wordt, via een afzonderlijk kanaal, óók het verloop van de omhullende van het eenzijbandsignaal overgebracht, om aan de ontvangkant weer op het begrensde eenzijbandsignaal te worden geënt. Dit extrasignaal, dat men kan vergelijken met de piloot-signalen, die in de telefonie vaak voor regeldoeleinden worden meegezonden, brengt dus het amplitudegegeven van de spraak over.

De schakeling wordt daarmee in principe zoals weergegeven is in *fig. 3*. Het uit te zenden laagfrequente signaal *a* (zie *fig. 4*) wordt met een relatief hoge draaggolffrequentie f_c gemoduleerd, waarna zowel de draaggolf als één van de zijbanden met behulp van het bandfilter BF_1 wordt onderdrukt. Het zo ontstane eenzijbandsignaal *b* wordt volledig begrensd in de begrenzer Cl_1, waardoor een kanteelvormig signaal *c* ontstaat (met in faze variërende nuldoorgangen). Door het hierop volgende bandfilter BF_2, dat identiek is met BF_1 en waarvan de bandbreedte dus weer gelijk is aan die van het oorspronkelijke laagfrequente signaal, wordt *c* omgezet in een vrijwel sinusvormig signaal *d*, dat ten slotte wordt overgezonden. Tegelijkertijd wordt de omhullende van het eenzijbandsignaal *b* gedetecteerd door de

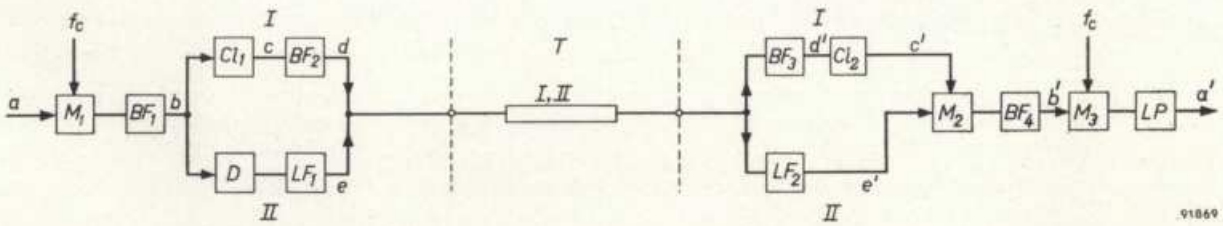


Fig. 3. Blokschema van een verbinding volgens het Frena-systeem. Het frequentiegegeven en het amplitudegegeven van de spraak worden in twee afzonderlijke kanalen (*I* en *II*) overgebracht. M_1, M_2, M_3 modulatoren; BF_1 tot BF_4 identieke bandfilters met doorlatingsband b.v. 50-53 kHz; LF_1 en LF_2 identieke laag doorlatende filters tot b.v. 100 Hz; *LP* laag doorlatend filter tot 3000 Hz; Cl_1 en Cl_2 begrenzers; *D* detector; *T* transmissiemedium (b.v. gesprekkanaal in draaggolfkabel of straalzenderverbinding). De spanningen op de punten *a,b,...* zijn in fig. 4 voorgesteld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

detector D, en het zo ontstane signaal e kan via een laag doorlatend filter LF_1 naar de ontvangzijde worden overgezonden. De transmissieweg tussen zender en ontvanger bevat dus twee kanalen, een frequentiekanaal (I) en een amplitudekanaal (II), waarbij het eerste kanaal een signaal zonder amplitudevariaties overbrengt (d) en het tweede kanaal een signaal mèt amplitudevariaties maar met uitsluitend lage frequenties (e).

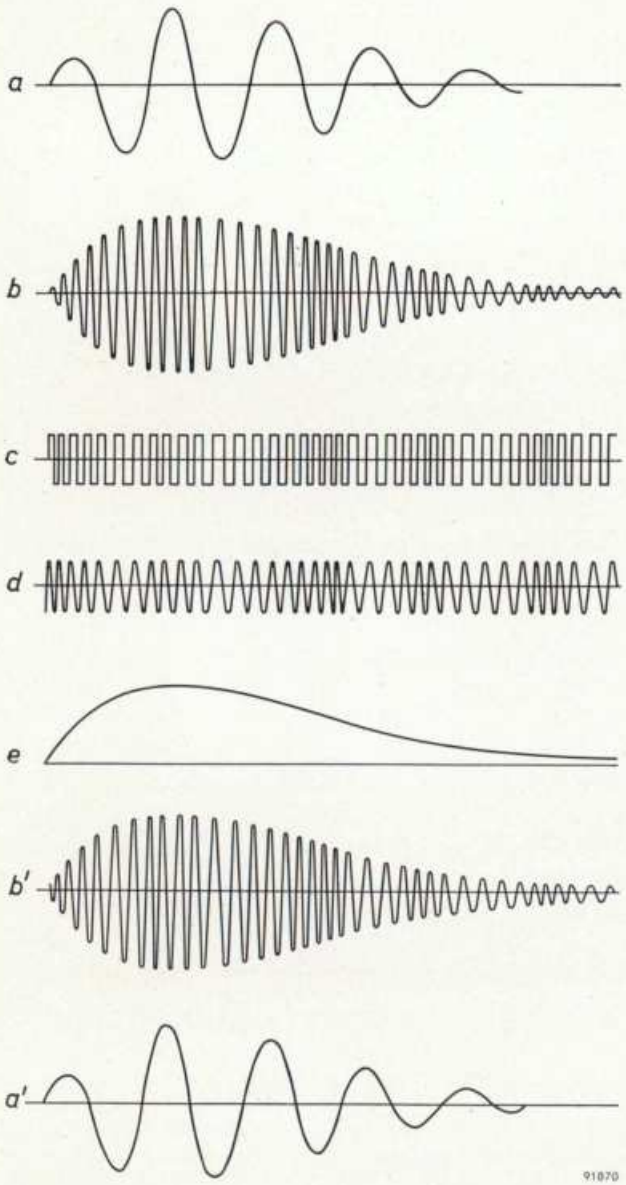


Fig. 4. Verloop van de spanningen op de aangegeven punten in fig. 3.
a) Spraaksignaal (met variërende amplitude èn frequentie).
b) Eenzijbandsignaal, verkregen door (a) te moduleren op de draaggolf f_c.
c) Signaal (b) na „volledige begrenzing". Dit bevat alleen het frequentiegegeven van de spraak.
d) Signaal (c) na wegfilteren van de hoge harmonischen.
e) Signaal (b) na detectie. Dit signaal bevat alleen het amplitudegegeven van de spraak.
(d) en (e) worden overgezonden.
b') Het na ontvangst gezuiverde (d') en opnieuw volledig begrensde (c') frequentiesignaal, gemoduleerd met het na ontvangst gezuiverde (e') amplitudesignaal.
a') Demodulatie en uitfilteren van (b') leveren vrijwel het oorspronkelijke spraaksignaal.

Aan de ontvangzijde van kanaal I worden eerst de buiten de nuttige frequentieband gelegen storingsbijdragen van de transmissieweg geëlimineerd door het bandfilter BF_3, dat weer identiek is met BF_1 en BF_2. Het aldus verkregen signaal d' heeft door de resterende storingen geen geheel constante amplitude, door de begrenzer Cl_2 echter wordt van d' weer een zuiver kanteelvormig signaal c' gemaakt, dat vrijwel geheel overeenkomt met het oorspronkelijke kanteelvormige signaal c. Moduleert men nu hierop (in M_2) het uit kanaal II ontvangen en door filter LF_2 gezuiverde omhullendesignaal e', de „piloot", dan ontstaat — na onderdrukking van de hogere harmonischen door het bandfilter BF_4 — het signaal b', dat een zeer grote overeenkomst met het oorspronkelijke eenzijbandsignaal b vertoont. Men demoduleert dit signaal ten slotte op de gebruikelijke wijze met de frequentie f_c, en verkrijgt zodoende aan de uitgang van het laag doorlatende filter LP een laagfrequent signaal a', dat vrijwel geheel met het oorspronkelijke signaal a overeenstemt. Waren de in de transmissieweg gebruikte bandbreedten (doorlatingsgebieden van BF_2 en LF_1) onbeperkt, dan zou zelfs exact het gewenste signaal ontstaan. Ten gevolge van de beperking in de bandbreedte ontstaat enige vervorming, welke echter maar weinig invloed heeft op de verstaanbaarheid.

In de praktijk worden vóór de ingang van het systeem de hogere frequenties in de spraak nog enigszins versterkt ten opzichte van de lagere, terwijl aan de uitgang van de ontvangzijde juist het omgekeerde gebeurt. Deze maatregel (frequentieeffening) dient om de meestal zwakke frequentiecomponenten in het hogere gedeelte van het spraakspectrum zodanig te versterken dat zij op het begrenzingsmechanisme een vrijwel even grote invloed kunnen uitoefenen als de lagere frequenties. De totale vervorming wordt daardoor kleiner. Dit effect was door Licklider ook reeds bij een begrenzing van spraak in de normale, laagfrequente, ligging geconstateerd.

Ruisonderdrukkende eigenschappen van Frena

In het kort gezegd, komen de gunstige ruiseigenschappen van het beschreven systeem hierop neer dat men ten eerste in het frequentiekanaal ook bij zwakkere spraaksignalen steeds met de maximale modulatie werkt, waardoor een relatief hoog ruisniveau mag worden toegelaten, en dat men ten tweede in het amplitudekanaal verhoudingsgewijs weinig ruis ontvangt doordat de bandbreedte hier

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

veel kleiner gekozen mag worden (zie hieronder) [8]). Hier komt verder nog het belangrijke psychologische effect bij dat de ontvangen ruis wordt gemoduleerd in het ritme van de spraak: bij zwakke spraaksignalen is weinig ruis aan de uitgang van de ontvanger waar te nemen, bij sterke signalen relatief meer. Dit maakt het luisteren naar een bij hoog ruisniveau ontvangen spraaksignaal veel minder vermoeiend dan bij eenzijbandtransmissie, waar de ruis een constante sterkte heeft en waar dientengevolge tijdens het luisteren de beslissing of men met spraak dan wel met ruis te maken heeft, aanzienlijk moeilijker is.

Het effect van het optreden van ruis in het frequentiekanaal wordt geïllustreerd door *fig. 5*. Hierin zijn de uitkomsten weergegeven van verstaanbaarheidsproeven door middel van logatomen (lettergrepen zonder betekenis, elk samengesteld volgens de combinatie medeklinker(s)-klinker-medeklinker(s)). Er werd een ruis van regelbare sterkte aan het signaal in het frequentiekanaal toegevoegd, en de procentuele klankverstaanbaarheid werd gemeten als functie van de signaal-ruisverhouding in het frequentiekanaal. In het amplitudekanaal (dat in dit geval een bandbreedte had van 250 Hz) werd geen ruis bijgemengd. Ter vergelijking is door middel van een streep-stip-lijn de verstaanbaarheid bij een normale eenzijbandverbinding aangegeven. Wegens het geringe aantal proefpersonen (4) en het vrij beperkte materiaal aan gebruikte logatomen (700 logatomen per kromme) dienen de uitkomsten van deze verstaanbaarheidsproeven slechts als ruwe indicatie opgevat te worden. Het typische verschil van Frena ten opzichte van eenzijbandmodulatie wordt er echter duidelijk mee geïllustreerd.

Men ziet uit fig. 5 dat bij grote signaal-ruisverhoudingen de verstaanbaarheid in het Frena-systeem iets kleiner is dan bij een eenzijbandsysteem. Dit is het gevolg van de vervorming, die in het Frena-systeem, ook bij afwezigheid van ruis, optreedt ten gevolge van de beperking van de bandbreedte in het amplitudekanaal. Bij kleinere signaal-ruisverhoudingen neemt evenwel de verstaanbaarheid veel minder snel af dan bij eenzijbandmodulatie. Op deze wijze wordt zelfs bij signaal-ruisverhoudingen van 0 dB in het frequentiekanaal (dus bij gelijke vermogens van signaal en ruis) nog een redelijke verstaanbaarheid gevonden. Opmerkelijk hierbij is dat de bezwaren van de proefpersonen tegen het luisteren bij hoge ruisniveaus wèl werden vernomen bij eenzijbandmodulatie, doch niet bij Frena-modulatie.

Deze resultaten wijzen er reeds op dat hier, althans voor spraak, een mogelijkheid te verwachten is om in het voor lineaire systemen onbereikbare gebied van fig. 2 te kunnen werken. Men dient dan natuurlijk nog rekening te houden met het amplitudekanaal, dat ook een deel van het totale signaalvermogen

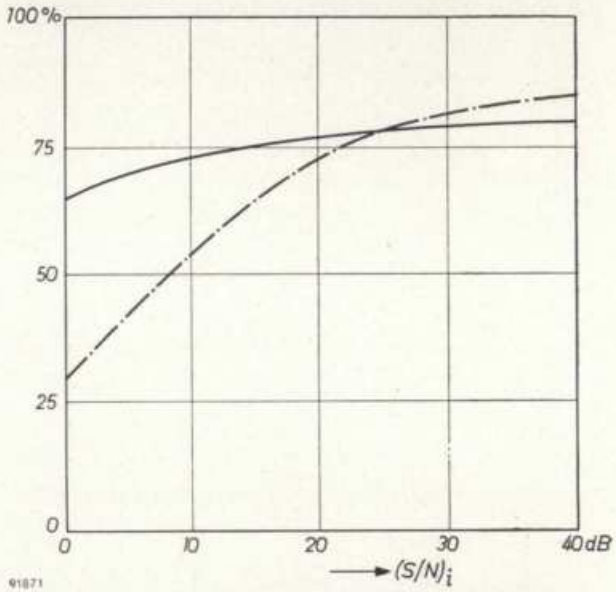


Fig. 5. Verstaanbaarheid (percentage van in logatomen overgezonden klanken dat goed wordt verstaan) bij Frena, waarbij in het frequentiekanaal een ruis van regelbare sterkte werd toegevoegd. Zelfs bij een ruis die even sterk is als het signaal, $(S/N)_i = 0$ dB, heeft men nog een redelijke verstaanbaarheid. De streep-stip-kromme geldt voor normale eenzijbandmodulatie.

opeist. Experimenteel bleek dat in dit tweede kanaal de ruisspanning aanmerkelijk kleiner moet worden gehouden dan in het frequentiekanaal: er bleek een signaal-ruisverhouding van 20 à 25 dB wenselijk. Anderzijds echter kan de frequentieband voor dit kanaal drastisch worden beperkt, zelfs tot ongeveer 50 Hz [9]). Deze beperking van de bandbreedte geeft

[8]) Een methode van volledige begrenzing van de spraak in een eenzijbandsignaal, overeenkomend met ons frequentiekanaal, is ook beschreven door P. Marcou en J. Daguet, Une nouvelle méthode de transmission de la parole, Proc. 3rd Symp. Information Theory, Londen 1955. Bij het aldaar beschreven procédé wordt echter het amplitudegegeven in het geheel niet overgebracht, of althans niet in een smalle band, waardoor men niet bij zulke kleine signaal-ruisverhoudingen kan werken als in ons geval.

[9]) Dat in dit geval ook de grondtoon van de spraak, zowel voor een mannen- als voor een vrouwenstem (100-300 Hz), nog goed aan de ontvangkant waargenomen wordt, moet te danken zijn aan het frequentiekanaal. Weliswaar laat dit de grondtoon zelf niet door (evenmin als een normaal telefoniekanaal dit doet), maar wèl een reeks harmonischen daarvan. Deze veroorzaken een periodiciteit in het signaal, die ons volgens de theorie van het „residu" de informatie omtrent de grondtoon verschaft (zie: J. F. Schouten, De toonhoogtegewaarwording, Philips techn. T. **5**, 298-306, 1940). In tegenstelling met de normale telefonie — waar eveneens de residu-theorie het horen van de grondtoon kan verklaren — kan in ons frequentiesignaal de genoemde periodiciteit niet aanwezig zijn in de amplitude, die immers volledig is begrensd, doch slechts in de faze der nuldoorgangen. Aan het feit dat ons gehoororgaan blijkbaar ook in deze fazemodulatie de grondtooninformatie weet te ontdekken, is het te danken dat de bandbreedte van het amplitudekanaal in Frena zo drastisch beperkt kan worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een zekere schorheid aan het spraakgeluid, zonder echter de verstaanbaarheid noemenswaard te schaden. Nog verder te gaan met de beperking, is niet gewenst, daar dan het verschil in looptijd van de frequentiesignalen en van de amplitudesignalen, dat het gevolg is van het verschil in bandbreedte der filters, te groot wordt.

De minimale signaal-ruisverhoudingen waarmee men met Frena nog kan werken, hangen nu verder ten nauwste samen met de manier waarop de informatie in het amplitudekanaal wordt overgebracht: dit kan geschieden b.v. door middel van amplitudemodulatie, frequentiemodulatie of codemodulatie. Het zal blijken dat men, in deze volgorde, steeds hogere ruisniveaus kan tolereren (dus grotere afstanden kan overbruggen). De informatie in het frequentiekanaal wordt hierbij steeds op dezelfde manier (dus als eenzijbandsignaal van constante amplitude) overgezonden. In het frequentiekanaal is het voor de verstaanbaarheid voldoende wanneer het signaalniveau even hoog is als het ruisniveau (fig. 5), ter wille van een geringere vervorming echter zal men het iets hoger wensen, b.v. 3 dB.

Overbrenging van de informatie in het amplitudekanaal

Wordt de informatie betreffende de amplitude overgezonden volgens de methode van fig. 3, eventueel na verlegging van kanaal *II* naar een hoger frequentiegebied, dan blijkt de totale winst in het te tolereren ruisniveau betrekkelijk gering te zijn. De oorzaak hiervan is het relatief grote zendvermogen dat voor dit amplitudekanaal nodig is. Immers, denkt men aan een frequentiekanaal van 3000 Hz bandbreedte waarin een signaal-ruisverhouding van 3 dB aanwezig is, dan wordt voor een amplitudekanaal met 100 Hz bandbreedte en een even groot zendvermogen als in het frequentiekanaal de signaal-ruisverhouding $10 \log 3000/100 \approx 15$ dB groter, dus gelijk aan 18 dB. Dit is volgens het boven vermelde nog iets aan de lage kant; beter is het dan ook, hiervoor een 3 dB hogere waarde te kiezen, dus het vermogen in het amplitudekanaal te verdubbelen. Het totale zendvermogen wordt daarmee een factor 3 (d.i. ca. 5 dB) groter dan in het frequentiekanaal, wat betekent dat men met hetzelfde totale zendvermogen en onder dezelfde ruisomstandigheden bij overbrenging door middel van normale eenzijbandmodulatie een signaal-ruisverhouding van 8 dB zou verkrijgen. Aangezien voor een normale eenzijbandverbinding een signaal-ruisverhouding van 10 dB nog juist voldoende is, bedraagt de winst derhalve slechts 2 dB, d.w.z. een daling van 37% in vereist zendvermogen. Hoewel dit in bepaalde gevallen reeds belangrijk kan zijn, is het toch gewenst uit te zien naar economischer methodes voor de overdracht van de informatie in het amplitudekanaal. Hiervoor kan men denken aan toepassing van één der eerst besproken lineaire ruisonderdrukkende systemen, b.v. frequentiemodulatie.

In tegenstelling met de situatie in het frequentiekanaal, waar de signaal-ruisverhouding (die voor deze beschouwing in de plaats treedt van de intrinsieke signaal-ruisverhouding, zie fig. 2) al zo klein is dat toepassing van frequentiemodulatie geen enkele zin meer zou hebben, kan voor het smalle amplitudekanaal toepassing van frequentiemodulatie wel degelijk van waarde zijn. Bij een zelfde zendvermogen als in het frequentiekanaal en een bandbreedte van 100 Hz heeft men immers in het amplitudekanaal, zoals we hebben gezien, reeds een intrinsieke signaal-ruisverhouding van 18 dB, en dit is een waarde waarbij men, volgens fig. 2, juist in het gebied terechtkomt waar een aanzienlijke verbetering door frequentiemodulatie mogelijk is. Het blijkt dan ook dat men hier met een 4-voudige vergroting van de frequentieband (die dan dus ca. 400 Hz bedraagt) een signaal-ruisverhouding van ca. 30 dB in het amplitudekanaal kan bereiken. (Daar de omhullende in het amplitudekanaal een unipolair signaal is, behoeft de modulatie van de frequentie in dit geval slechts in één richting te geschieden.) Toepassing van frequentiemodulatie stelt ons derhalve in staat, voor het amplitudekanaal inderdaad te volstaan met ongeveer hetzelfde vermogen als in het frequentiekanaal. Men krijgt dus nu nog een bruikbare overbrenging onder zodanige omstandigheden van ruis en totaal zendvermogen dat men in een normale eenzijbandverbinding een signaal-ruisverhouding van slechts 6 dB zou verkrijgen.

Een nader onderzoek heeft geleerd dat frequentiemodulatie nog niet de gunstigste methode is voor overbrenging van de informatie in het amplitudekanaal. Met een speciaal systeem van codemodulatie, dat hieronder zal worden beschreven, kan nog ongeveer 2 dB in toelaatbare ruis gewonnen worden.

„Frenac", een Frena-systeem met gecodeerd amplitudesignaal

Het blijkt dat een gunstige signaal-ruisverhouding in het amplitudekanaal niet zozeer gewenst is om het verloop van de omhullende natuurgetrouw weer te geven, doch veeleer om een ongewenst combina-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tie-effect van ruis in het frequentiekanaal en ruis in het amplitudekanaal tegen te gaan. Dat een natuurgetrouwe overbrenging hier niet noodzakelijk is, blijkt uit het feit dat men van dit signaal zonder bezwaar alle pieken tot op een niveau 10 of 15 dB beneden de hoogste toppen door begrenzing mag afsnijden. De natuurlijkheid en de verstaanbaarheid van de spraak nemen daardoor maar weinig af. Voegt men echter in belangrijke mate ruis toe aan het signaal in het amplitudekanaal, terwijl het ruisniveau in het frequentiekanaal reeds zeer hoog is, dan neemt de verstaanbaarheid sterk af. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat ruis in het frequentiekanaal nu ook op momenten dat er géén spraaksignaal aanwezig is — b.v. tussen twee woorden of twee letterklanken —, naar de uitgang wordt doorgegeven; immers, de modulator aan de ontvangzijde wordt in evenredigheid met de ruisspanning in het amplitudekanaal geopend. Het zijn deze, verwarring stichtende, ruispakketjes die de verstaanbaarheid nadelig beïnvloeden, doordat zij vaak hetzelfde karakter hebben als het begin van bepaalde letterklanken. Om te vermijden dat men tijdens het luisteren telkens moet beslissen of een signaal als deel van een letterklank dan wel als ruis geïnterpreteerd moet worden, is het het beste, deze ruiscomponenten tijdens afwezigheid van spraakinformatie volledig te onderdrukken.

Deze stelregel, gevoegd bij de vermelde mogelijkheid om het signaal dat het amplitudegegeven overbrengt, zeer sterk te begrenzen, heeft ons ertoe geleid, dit amplitudesignaal te vervangen door een veel eenvoudiger pilootsignaal: het aan de zendzijde gedetecteerde amplitudeverloop (*fig. 6*, kromme *e*) wordt gereduceerd tot een kanteelvormig signaal dat alleen aangeeft of spraak al dan niet aanwezig is (f). Als criterium voor de aanwezigheid van spraak wordt daarbij gebruikt dat de amplitude op zijn minst een bepaald bedrag groter is dan de microfoonruis. Dit kanteelvormige signaal zendt men uit als een serie golftreintjes van constante amplitude (g). Bij het detecteren van dit signaal aan de ontvangzijde wordt, hoewel zijn omhullende onderweg ten gevolge van ruis min of meer grillig geworden is (f'), toch een vrij goede benadering (f'') van het oorspronkelijke kanteelvormige signaal verkregen (gereconstrueerd), door middel van een elektronisch relais dat op de helft van de topspanning aanspreekt. Dit is in feite de wijze van reconstructie waarmee in het algemeen bij impulscodemodulatie de ruisonderdrukking bewerkstelligd wordt. Het gereconstrueerde pilootsignaal kan, na afronding van de scherpe flanken (f'''), aan de eerste modulator in de ontvanger worden toegevoerd.

Bij een bandbreedte van 100 Hz kan dit schakelen zo vlug gebeuren dat tussen snel opeenvolgende letterklanken van één lettergreep nog geschakeld wordt.

Met dit systeem met gecodeerd amplitudesignaal („Frenac") [10]) bereiken we vrijwel dezelfde verstaanbaarheid, zij het met grotere vervorming, als bij gebruik van het niet-begrensde amplitudesignaal met grote signaal-ruisverhouding. Het grote voordeel echter is, dat we nu voor het, rudimentaire, amplitudegegeven in het geheel geen zendvermogen extra nodig hebben. Immers, zoals in fig. 6 te zien is, heeft het pilootsignaal bij *af*wezigheid van spraak een zekere constante waarde, en bij *aan*wezigheid van spraak de waarde nul. Dit komt erop neer dat frequentiesignaal en amplitudesignaal beurtelings en — wat voor de hand ligt — met dezelfde amplitude worden overgezonden. Heeft men daarbij in het frequentiekanaal (met 3000 Hz bandbreedte) te maken met een signaal-ruisverhouding van 4 dB, dan treft men in het amplitudekanaal (met een bandbreedte van 100 Hz) weer een 15 dB hogere signaal-ruisverhouding aan, dus van ongeveer 19 dB. Hierbij is de ruis voldoende zwak dat men in de ontvanger volgens de beschreven methode piloot- en

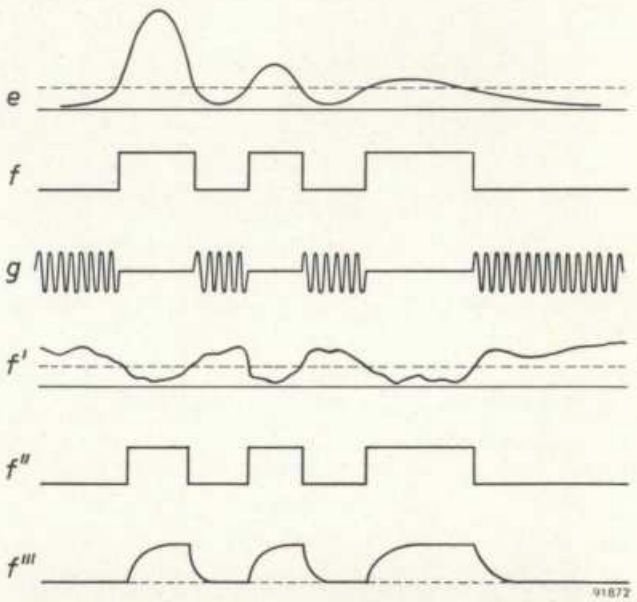


Fig. 6. Bij Frenac is het amplitudegegeven (e) van de spraak vereenvoudigd tot een kanteelvormig signaal (f), dat uitgezonden wordt in de vorm van draaggolftreintjes (g). Uit het aan de ontvangzijde gedetecteerde, met storingen behepte signaal (f') kan vrij nauwkeurig het kanteelvormige signaal worden gereconstrueerd (f''), dat na afronding (f''') gebruikt wordt om het frequentiekanaal op de juiste momenten te openen en te sluiten.

[10]) De beschreven vereenvoudiging van het amplitudesignaal, tot een keuze tussen ja of neen, is op te vatten als de simpelste mogelijke codering. In principe is het mogelijk het Frenac-systeem te verfijnen door een codering van de amplitude in meer niveaus.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stoorsignaal kan scheiden. Als pilootsignaal kan in veel gevallen met voordeel de draaggolf van het eenzijbandsignaal in het frequentiekanaal gebruikt worden. Men heeft dan o.a. weinig last van intermodulatie der twee kanalen.

kanaal te kunnen veroorzaken, moet de ruis aldus boven een hoge drempelwaarde uitkomen, die bij het hierboven aangenomen ruisniveau ook door de piekspanningen in de ruis vrijwel nog niet overschreden wordt, ondanks het feit dat men voor de

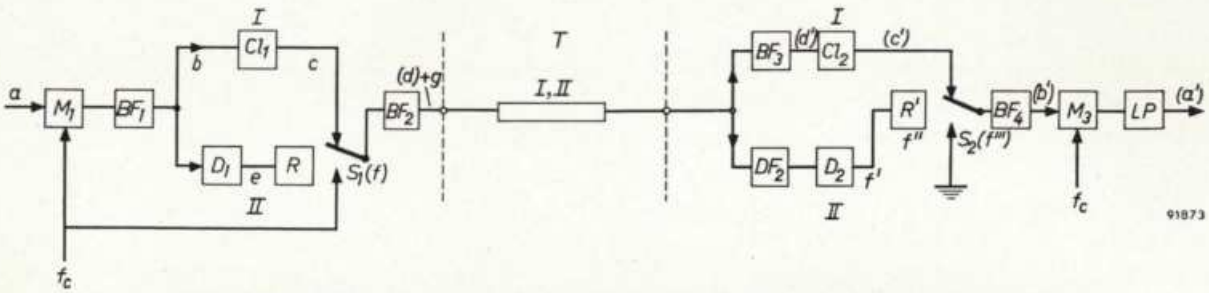


Fig. 7. Blokschema van een verbinding volgens het Frenac-systeem. Het aan de zendzijde gedetecteerde amplitudeverloop van de spraak doet het relais R opkomen en afvallen, hetgeen erop neerkomt dat dit verloop tot een kanteelvorm wordt vereenvoudigd. Het relaiscontact S_1 voert in het ritme van de kanteelspanning afwisselend òf het frequentiesignaal (c) òf de draaggolf f_c aan de transmissielijn T toe. Aan de ontvangzijde filtert DF_2 de draaggolf uit; door detectie in D_2 wordt het kanteelvormige signaal terugverkregen, dat met het relais R' en het relaiscontact S_2 (dat automatische zorgt voor de vermelde afronding, zie fig. 6, kromme f''') bewerkstelligt dat het frequentiekanaal doorverbonden wordt naar de demodulator M_3 op die tijdstippen waarop een spraaksignaal aanwezig is.
Voor de overige letters, zie fig. 3. Voor het verloop van de spanningen in de aangegeven punten a,..., zie fig. 4 en fig. 6. Op de met letters a-d in haakjes aangeduide plaatsen treedt het desbetreffende signaal slechts met onderbrekingen op.

Het schema van de zo verkregen zender en ontvanger wordt weergegeven in *fig. 7*, waar de situatie getekend is voor het moment dat een letterklank wordt overgezonden. Reeds bij een laag spraakniveau, gedetecteerd door de gelijkrichter D_1, spreekt het relais R aan. Dit schakelt door middel van een relaiscontact S_1 van de draaggolf f_c over op het begrensde eenzijbandsignaal. Bij gebruik van een elektronisch relais kan dit natuurlijk uiterst snel gebeuren. De voor de overbrenging nodige bandbreedte beslaat het frequentiegebied van de draaggolf en één volledige zijband (0-100 Hz voor het pilootsignaal, en b.v. 300-3300 Hz voor het frequentiesignaal).

Aan de ontvangzijde wordt door middel van een smal bandfilter DF_2 en een detector D_2 het al of niet aanwezig zijn van draaggolfspanning gedetecteerd, waaruit tot het niet of wel ontvangen van letterklanken wordt geconcludeerd. In het eerste geval wordt de verbinding naar de uitgang verbroken door het opkomen van het (bij voorkeur elektronische) relais R'. In tegenstelling met het relais R aan de zendzijde, dat reeds bij kleine spraaksignalen opkomt, wordt het relais aan de ontvangzijde zo ingesteld dat het ongeveer op de halve waarde van de normaal uit de detector komende spanningsamplitude aanspreekt (en afvalt), om zodoende ruis- en stoorsignalen overeenkomende met deze halve waarde nog te kunnen elimineren. Om een storing in het amplitudegehele verbinding werkt met een signaal-ruisverhouding van 4 dB.

In de praktijk kan men de zendzijde van fig. 7 nog vereenvoudigen door uit te gaan van het schema in *fig. 8*. Tezamen met het eenzijbandsignaal b wordt aan de ingang van de begrenzer Cl_1 ook een draaggolfspanning met betrekkelijk kleine amplitude toegevoerd. Is deze amplitude klein ten opzichte van de normale spraakamplitude, dan zal tijdens het aanwezig zijn van spraak het begrensde eenzijbandsignaal hierdoor vrijwel niet veranderen, terwijl bij afwezigheid van spraak automatisch een draaggolffrequentie met dezelfde amplitude aan de uitgang van de begrenzer ontstaat.

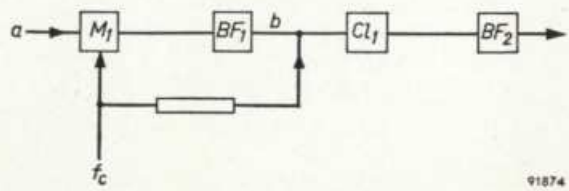


Fig. 8. Vereenvoudigde schakeling aan de zendzijde voor Frenac.

Ook bij een schakeling volgens fig. 7 of 8 blijkt het, evenals we hebben gezien bij de schakeling van fig. 3, gunstig te zijn vóór en achter het systeem een effening toe te passen, hetgeen kan geschieden door middel van een differentiërend resp. integrerend netwerk. Daardoor krijgen de op een constant niveau

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gebrachte uitgangssignalen a' een frequentiespectrum dat beter overeenkomt met het gemiddelde spectrum van de spraak.

Bij toepassing van het Frenac-systeem via een hoogfrequente transmissieweg bleek men nog goed te kunnen werken bij een signaal-ruisverhouding van de reeds genoemde waarde van 4 dB. De spraak klonk daarbij wat „korrelig" als gevolg van de met spraak gemoduleerde ruis, de verstaanbaarheid was echter zeer bevredigend, terwijl het luisteren weinig vermoeiend was. Het ingangsniveau van de spraak aan de zendzijde kon hierbij in totaal omstreeks 15 dB gevarieerd worden zonder dat de verstaanbaarheid door de met het zendniveau toenemende vervorming te veel achteruitging. Bij een verhoging van het ruisniveau zodanig dat de signaal-ruisverhouding 0 dB bedroeg (waarbij dus ruis en signaal in de transmissieweg in effectieve waarde even groot zijn), bleef de verbinding nog bruikbaar mits men langzaam sprak. De verstaanbaarheid is dan wel enigszins achteruitgegaan, ten gevolge waarvan ook het ingangsniveau minder gevarieerd kon worden: in totaal was een variatie over ca. 5 dB nog toelaatbaar. Gaat men nog verder, dus tot een ruisniveau dat hoger ligt dan het signaalniveau, dan neemt de verstaanbaarheid zeer snel af doordat behalve het frequentiekanaal ook het amplitudekanaal ernstig gestoord wordt.

Vergelijkt men nu de minimaal vereiste signaal-ruisverhoudingen die voor de verschillende systemen gevonden werden, dan komt men tot het volgende overzicht:

	Minimaal vereiste verhouding signaal-tot ruisvermogen, $(S/N)_i$
Eenzijbandmodulatie	10 (10 dB)
Frena met amplitudemodulatie in het amplitudekanaal	6 (8 dB)
Frena met frequentiemodulatie in het amplitudekanaal	4 (6 dB)
Frenac (met gecodeerd amplitudesignaal)	2,5 (4 dB)

Men ziet dat men spraak kan overzenden bij signaal-ruisverhoudingen, zo gering dat de ruisonderdrukkende werking van de bekende lineaire systemen als b.v. frequentiemodulatie reeds lang is opgehouden, terwijl men ten opzichte van de normale eenzijbandmodulatie nog veel kan winnen. Een en ander is natuurlijk een gevolg van het feit dat deze systemen in hoge mate zijn aangepast bij karakteristieke eigenschappen van de spraak (resp. ons oor). Dat men daarom bij deze systemen niet aan de overbrenging van andere signalen, b.v. muziek, moet denken, doet aan hun toepasbaarheid weinig af, daar zeer vele, ja zelfs de meeste telecommunicatie-installaties uitsluitend voor spraakcommunicatie worden ontworpen. Het Frenac-systeem, waarmee men nog bij zeer sterke ruis kan werken, heeft verder de eigenschap dat de amplitude van het totale uitgezonden signaal steeds constant is; daardoor biedt het de mogelijkheid, waar dit gewenst is, zenders te gebruiken met instelling klasse C der buizen, die een hoog rendement mogelijk maakt. Ten slotte is het aanwezig-zijn van de piloot bij afwezigheid van letterklanken (en dus gedurende het grootste gedeelte van de tijd) van belang voor eventuele automatische frequentieregelingen.

Hoewel Frenac hier is geïntroduceerd als een poging het onderste uit de kan te halen wat betreft het toelaatbare storingsniveau — voor een bepaalde, nog voldoende kwaliteit van de spraakoverbrenging —, kan men zich ook afvragen, of Frenac nuttig zou zijn om bij niet abominabel slechte intrinsieke signaal-ruisverhouding, b.v. van 10 dB, de kwaliteit te verbeteren. De gedachtegang loopt dan weer parallel aan onze uiteenzetting over de lineaire systemen, waar sprake was van verbetering van de effectieve, bij gegeven intrinsieke, signaal-ruisverhouding. Het begrip „effectieve signaal-ruisverhouding" hebben we bij Frena en Frenac niet gebruikt, daar deze grootheid (ook bij aangepaste definitie) hier wegens de vervorming niet als maatstaf voor de kwaliteit van een spraakverbinding kan dienen. Een dergelijke maatstaf hadden we in eerste instantie ook niet nodig, daar wij van een min of meer gegeven minimale kwaliteit uitgingen en ons alleen afvroegen, hoe ver de intrinsieke signaal-ruisverhouding daarvoor verminderd mocht worden. Een kwantitatieve beoordeling van de kwaliteit van spraakverbindingen mèt vervorming is echter mogelijk met behulp van luisterproeven, die op een bepaalde, door het C.C.I.F. (Comité Consultatif International de Téléphonie) voorgestelde, wijze worden uitgevoerd [11]). In het zo verkregen kwaliteitscijfer komen verschillende criteria, zoals verstaanbaarheid, vervorming, gemak van het luisteren, enz., tot hun recht. Door middel van zulke proeven hebben wij kwantitatief kunnen vaststellen dat bij de genoemde, niet al te slechte, signaal-ruisverhouding van 10 dB de kwaliteit van

[11]) Draft report of 4th study group C.C.I.F., Genève, november 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Frenac inderdaad aanzienlijk kan worden verbeterd, nl. door het in- en uitschakelen van het frequentiekanaal door het pilootsignaal niet geheel discontinu te laten gebeuren. Men gaat dan als het ware een stap terug in de richting van Frena, zonder nochtans een volledige lineariteit in de overbrenging van het amplitudegegeven te betrachten. Dit gewijzigde Frenac-systeem gaf ook een duidelijke kwaliteitsverbetering ten opzichte van de gewone eenzijbandmodulatie, zowel mèt als zonder begrenzing. De onderzoekingen in deze richting worden nog voortgezet.

Samenvatting. Voor het overbrengen van spraak door middel van eenzijbandmodulatie heeft men een signaal-ruisverhouding van op zijn minst 10 dB nodig. Systemen als frequentiemodulatie, impulscodemodulatie e.a. maken het mogelijk, de signaal-ruisverhouding van een verbinding te verbeteren door het gebruik van een bredere frequentieband in de transmissieweg. Deze zg. lineaire storingonderdrukkende systemen zijn echter alleen effectief bij niet te kleine „intrinsieke" signaal-ruisverhouding van de verbinding, boven ca. 10 dB, zodat zij bij de genoemde kleine signaal-ruisverhouding geen voordeel ten opzichte van eenzijbandmodulatie kunnen bieden. Met niet-lineaire systemen daarentegen, die men speciaal voor spraakoverbrenging heeft ontwikkeld, is een verstaanbare transmissie mogelijk bij nog geringere signaal-ruisverhoudingen. De ruis kan hier tot op zekere hoogte worden onderdrukt door een vervorming toe te laten, die de verstaanbaarheid van de spraak nog niet te zeer schaadt. Bij het te Eindhoven uitgewerkte „Frena"-systeem wordt dit principe aldus gerealiseerd dat men het frequentiegegeven en het amplitudegegeven van de spraak in twee afzonderlijke kanalen overbrengt, het eerste als een eenzijbandsignaal in een frequentieband van ca. 3000 Hz breedte, het tweede in een band van b.v. 100 Hz breedte. In het frequentiekanaal is dan een signaal-ruisverhouding van 3 dB reeds ruim voldoende. Doordat men echter voor het amplitudegegeven nog een vrij groot vermogen nodig heeft, is de minimale vereiste signaal-ruisverhouding ca. 8 dB, als men het amplitudegegeven door een in amplitude gemoduleerd signaal overbrengt. De vereiste waarde wordt verminderd tot ca. 6 dB als men dit door een in frequentie gemoduleerd signaal doet. Nog verder komt men als men het amplitudesignaal vereenvoudigt tot een „piloot" die alleen aangeeft of een spraakklank al dan niet aanwezig is („Frenac"). Men kan dan zo te werk gaan, dat de piloot in het geheel geen extravermogen opeist, en doordat de ruis hier op de kritiekste momenten wordt onderdrukt, is hij zo weinig hinderlijk dat zelfs bij een signaal-ruisverhouding van slechts 4 dB nog een verstaanbare ontvangst van spraak mogelijk is.

Terwijl bij de beschreven ontwikkeling uitgegaan is van een minimale kwaliteit, die men bij steeds slechtere signaal-ruisverhouding tracht te handhaven, wordt thans met verdere varianten van Frena en Frenac ook getracht, bij niet al te slechte signaal-ruisverhouding, b.v. 10 dB, de kwaliteit van de ontvangst te verbeteren.

DE SUBMICROSCOPISCHE STRUCTUUR VAN „TICONAL" G MAGNEETSTAAL

620.18:669.15.255.24.71.018.58:621.318.2

„Ticonal" G is een legering voor permanente magneten met de samenstelling: 51% Fe, 24% Co, 14% Ni, 8% Al en 3% Cu. Door deze legering met een bepaalde snelheid af te koelen in een magnetisch veld en daarna te ontlaten, krijgt men een anisotroop materiaal met bijzonder gunstige magnetische eigenschappen [1]): de waarde van $(BH)_{max}$ van dit materiaal is ongeveer $5{,}0 \times 10^6$ gauss × oersted, gemeten in de richting van het veld tijdens de afkoeling. Nog verder is men gekomen met eenkristallen van dit materiaal (dat in het kubische stelsel kristalliseert), waarbij men zorgt dat gedurende de afkoeling een (100)-richting evenwijdig is aan de veldrichting [2]). Hierbij wordt een waarde van $(BH)_{max} = 8{,}0 \times 10^6$ gauss × oersted bereikt.

[1]) B. Jonas en H. J. Meerkamp van Embden, Philips techn. T. **6**, 8-11, 1941.

[2]) Ned. octrooi no. 71 925; zie Philips techn. T. **19**, 23-25, 1957 (no. 1).

Fig. 1 geeft in de vorm van een fotomontage een ruimtelijke indruk van de metallografische structuur van een dergelijk eenkristal. Daartoe zijn elektronenmicroscopische foto's die van de structuur op (100)-vlakken werden gemaakt, op de overeenkomstige vlakken van een houten kubus geplakt. De richting van het magnetische veld tijdens de afkoeling is in de figuur aangegeven met een pijl. De foto's die voor de montage zijn gebruikt, zijn in de *figuren 2* en *3* afzonderlijk weergegeven.

Hieruit blijkt, dat er een belangrijk verschil is tussen het structuurbeeld van het (100)-vlak evenwijdig aan het magnetisch veld en dat van het (100)-vlak loodrecht op deze richting. In het eerste geval wordt dit gekenmerkt door langgerekte gerichte bestanddelen, waarvan de grootste afmeting samenvalt met de richting van het magnetisch veld en die in het kubusvlak enigszins plaatvormig zijn uitgegroeid (fig. 2). In het tweede geval is een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

structuur te zien waarin twee onderling loodrechte richtingen overheersen, terwijl de bestanddelen in lengte en breedte slechts weinig verschillen (fig. 3).

Bij de beschrijving van de structuur, die in wezen in overeenstemming is met de voorstelling die men zich reeds op grond van het magnetische gedrag van dit materiaal had gevormd, is opzettelijk gebruik gemaakt van de term „structuurbestanddelen",

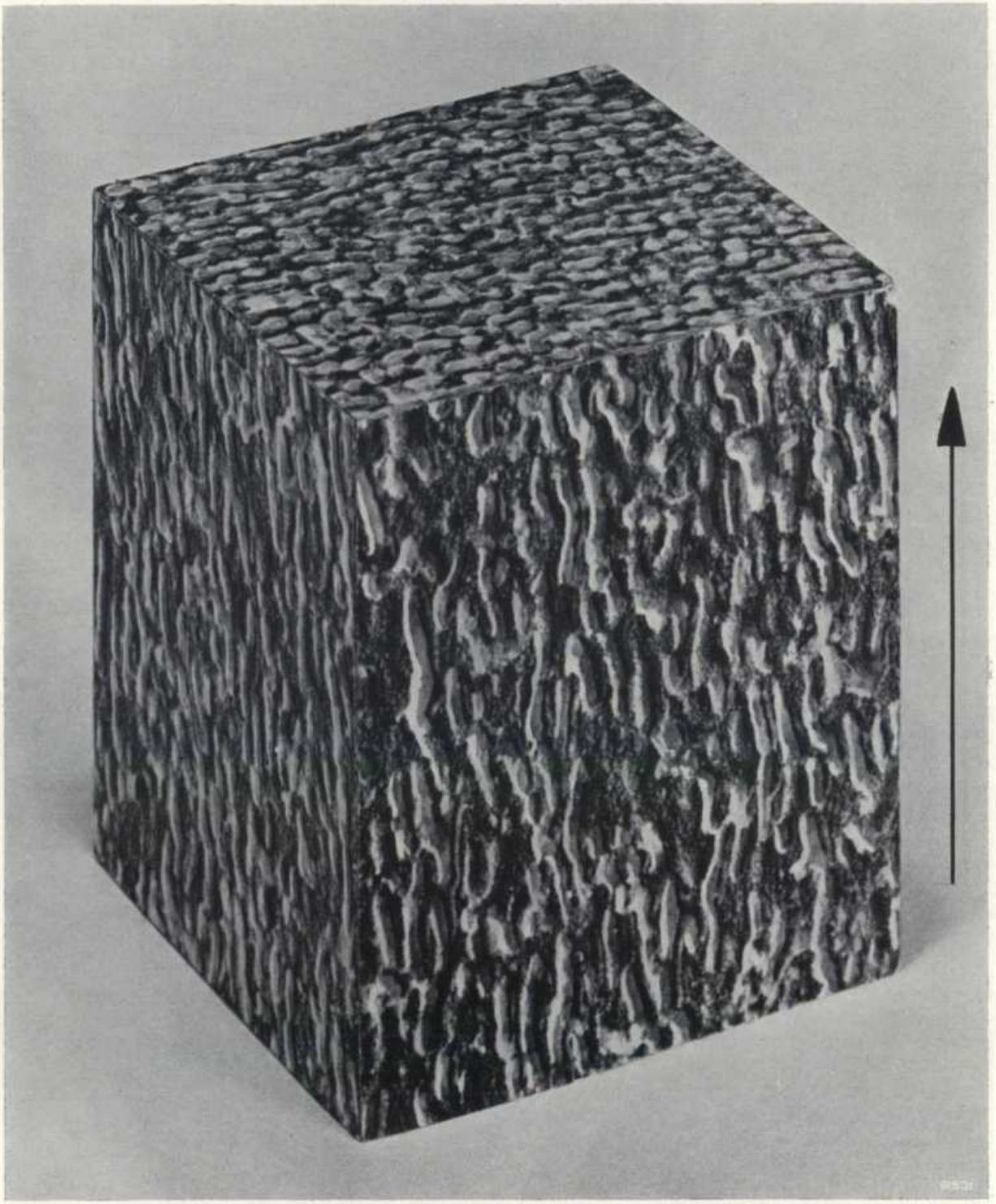


Fig. 1. Fotomontage die een ruimtelijke indruk geeft van de metallografische structuur van een „Ticonal" G eenkristal. De pijl geeft de richting aan van het uitwendige magnetische veld tijdens de afkoeling. Deze foto is verkregen door de in de figuren 2 en 3 gereproduceerde structuurfoto's (vergroting 160 000 ×) op de overeenkomstige vlakken van een houten kubus te plakken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 2. Elektronenmicroscopisch beeld van de structuur op een (100)-vlak evenwijdig aan het uitwendige magnetische veld tijdens de afkoeling.
Directe koolreplica van een met platina geschaduwd elektrolytisch gepolijst oppervlak, dat met een verdunde oplossing van salpeterzuur in alcohol geëtst is. Vergroting: 160 000×.
De opname is gemaakt met de Philips elektronenmicroscoop EM100b.

Fig. 3. Als fig. 2, doch nu voor een kubusvlak loodrecht op het uitwendige magnetische veld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

daarbij in het midden latend of hier een goed gedefinieerde tweede faze geprecipiteerd is, of dat men te doen heeft met een voorstadium van een precipitatie, dat gekenmerkt wordt door periodieke fluctuaties in de samenstelling. De verkregen structuurbeelden laten niet toe te beslissen welke van de beide opvattingen juist is, daar ook bij een geleidelijk veranderende samenstelling abrupte veranderingen in de chemische aantastbaarheid kunnen voorkomen, zodanig dat het bij het etsen lijkt alsof er fazegrenzen optreden (resistentiegrenzen van Tammann).

Voor de zeer fijne structuurdetails die tussen de relatief grove afscheidingen voorkomen, hebben we nog geen aannemelijke verklaring gevonden.

In het korte bestek van deze mededeling moeten we ons onthouden van een vergelijking met reeds eerder gepubliceerd werk van andere onderzoekers [3]). In een publikatie welke in voorbereiding is, zullen we daarop nader ingaan.

H. B. HAANSTRA, J. J. de JONG en J. M. G. SMEETS.

[3]) R. D. Heidenreich en E. A. Nesbitt, J. appl. Phys. **23**, 352-365, 1952.
K. J. Kronenberg, Z. Metallkunde **45**, 440-447, 1954.
H. Fahlenbrach, Techn. Mitt. Krupp **12**, 177-184, 1954; **14**, 12-15, 1956 (no. 1).
D. Schulze, Exp. Techn. Physik **4**, 193-204, 1956 (no. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GRONDSLAGEN VAN DE KLEURENTELEVISIE

door F. W. de VRIJER.

621.397.2

De kleurendruk van illustraties in tijdschriften en boeken, en de kleurenfilm in de bioscoop en in de amateurfotografie, hebben de laatste jaren een hoge graad van volmaaktheid bereikt. Zij hebben als het ware de ogen van het grote publiek voor de kleurenwereld geopend. Het ligt voor de hand dat de televisie hierin niet mocht achterblijven. Kleurentelevisie is tegenwoordig een realiteit, getuige b.v. de regelmatige uitzendingen van kleurentelevisie die in de Verenigde Staten plaatshebben. Wegens de vooralsnog hoge kosten gebeurt dit op betrekkelijk kleine schaal; men mag dan ook niet verwachten dat de kleurentelevisie, anders dan op experimentele schaal, al spoedig haar intrede in Europa zal doen.

Ook bij Philips is aan het kleurentelevisievraagstuk gewerkt. Het is de bedoeling, hierover in enige artikelen een en ander mede te delen. Hier volgt eerst een inleidend artikel.

Eén van de grondslagen van de kleurentelevisie wordt behandeld in de kleurenleer. Verschillende colorimetrische begrippen, zoals de kleurendriehoek, zijn meermalen in dit tijdschrift ter sprake gekomen [1]). Wij zullen beginnen met deze in weinige bladzijden in herinnering te roepen.

Colorimetrie

De spectrale energieverdeling van een lichtsoort bepaalt de kleur van het licht. Omgekeerd echter legt de kleur van het licht de spectrale verdeling niet ondubbelzinnig vast: verschillende spectrale verdelingen kunnen namelijk een zelfde kleurindruk teweegbrengen. Reeds aan Newton was bekend dat bijna alle kleuren kunnen worden nagebootst door licht van slechts drie grondkleuren additief te mengen, d.w.z. zodanig samen te voegen dat de verschillende lichtsoorten gelijktijdig hetzelfde deel van het netvlies van de waarnemer treffen. Additieve menging treedt b.v. op als men met twee of meer projectors die ieder een lichtbundel van een bepaalde kleur leveren, een zelfde deel van een projectiescherm belicht. Kiest men als grondkleuren rood, groen en blauw, dan kan men door additieve menging vrijwel alle kleuren reproduceren (op het kleine voorbehoud dat in dit „vrijwel" ligt opgesloten, komen wij aanstonds terug). Door b.v. aan rood wat groen toe te voegen, krijgt men oranje; met wat meer groen ontstaat geel, en met nog meer groen geelgroen. In de juiste verhouding gemengd, kunnen de drie grondkleuren wit leveren (*fig. 1*).

Tegenover additieve menging staat subtractieve menging (ook wel multiplicatieve menging genoemd). Deze treedt op wanneer men bepaalde delen van het spectrum van een lichtsoort meer verzwakt dan andere, b.v. door het licht te laten gaan door een filter, of door het aan een oppervlak selectief te laten reflecteren. Dit laatste doet zich voor bij het mengen van kleurstoffen [2]) en wordt o.a. ook toegepast bij de moderne vormen van de kleurenfotografie. De wetten voor subtractieve menging zijn ingewikkelder dan die voor additieve (op welke wij straks nog terugkomen). Als voorbeeld van het verschil in resultaat geven wij naast fig. 1 nog *fig. 2*, die weergeeft waartoe menging kan leiden van twee of drie verfstoffen welker kleuren complementair zijn met die der lichtsoorten waarvan in fig. 1 werd uitgegaan.

In de colorimetrie gebruikt men als grondkleuren vaak de volgende spectrale kleuren met de ernaast vermelde golflengte λ (in vacuüm):

$$\left.\begin{array}{r}\text{rood met } \lambda = 700{,}0 \text{ nm } [3]),\\ \text{groen met } \lambda = 546{,}1 \text{ nm en}\\ \text{blauw met } \lambda = 435{,}8 \text{ nm.}\end{array}\right\} \quad . \; . \quad (1)$$

Is een bepaalde lichtsoort voor het oog niet te onderscheiden van het additieve mengsel van B_1 lumen met $\lambda = 700{,}0$ nm, B_2 lumen met $\lambda = 546{,}1$ nm en B_3 lumen met $\lambda = 435{,}8$ nm, dan zegt men dat in het stelsel met de bovengenoemde grondkleuren de bedoelde lichtsoort de kleurcoördinaten B_1, B_2 en B_3 heeft. *Fig. 3* geeft meetresultaten — gemiddeld over een groot aantal waarnemers — voor de coördinaten van 1 lumen van andere spectrale kleuren. Men ziet dat er ook negatieve waarden kunnen optreden. Is b.v. B_1 negatief,

[1]) Zie b.v. W. de Groot en A. A. Kruithof, Philips techn. T. **12**, 141-146, 1950. Voor een uitvoeriger behandeling, zie P. J. Bouma, Kleuren en kleurindrukken (Philips' techn. Bibliotheek 1946, Meulenhoff & Co., Amsterdam).

[2]) Vgl. b.v. J. L. H. Jonker en S. Gradstein, Schilderen met fluorescerende verven, Philips techn. T. **11**, 16-22, 1949.

[3]) 1 nm = 1 nanometer = 10^{-9} m = 10 Å.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

terwijl B_2 en B_3 positief zijn, dan wil dit zeggen dat het additieve mengsel van het oorspronkelijke licht met $-B_1$ lumen van $\lambda = 700{,}0$ nm voor het oog gelijk is aan het additieve mengsel van B_2 lumen van $\lambda = 546{,}1$ nm en B_3 lumen van $\lambda = 435{,}8$ nm. Zulke lichtsoorten, met één of twee negatieve coördinaten, zijn dus door additief mengen

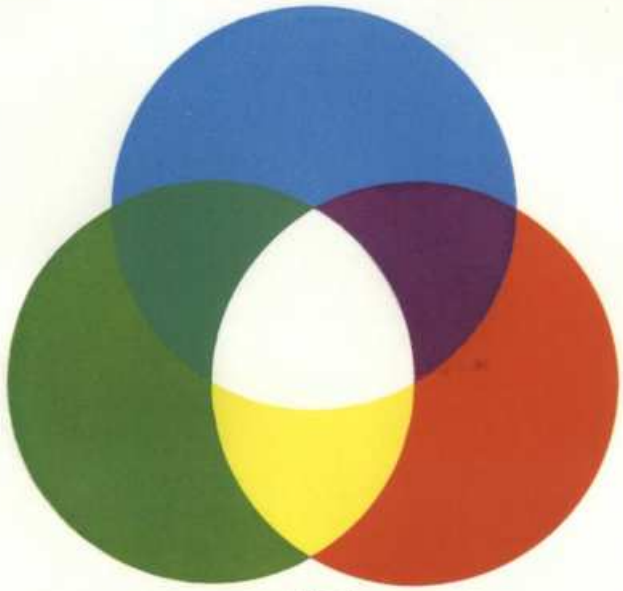


Fig. 1.

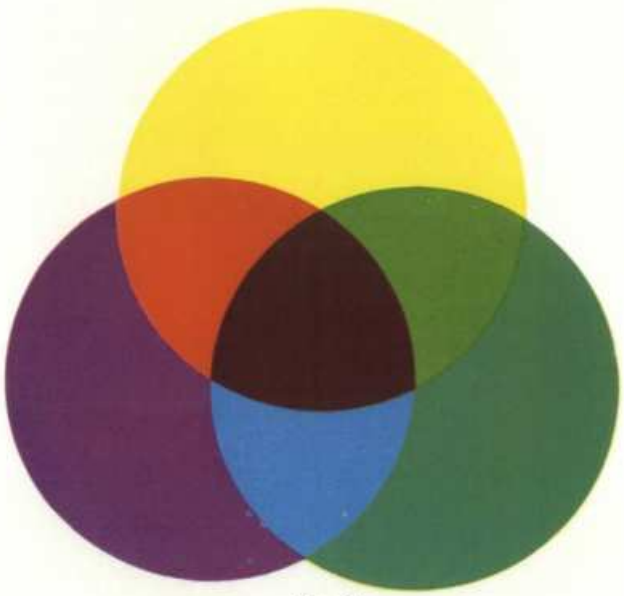


Fig. 2.

Fig. 1. Additieve menging van rood, groen en blauw licht. Twee aan twee gemengd, leveren deze lichtsoorten geel, blauwgroen of purper. Mengt men de drie lichtsoorten in de juiste verhouding, dan ontstaat wit.
Fig. 2. Subtractieve menging. Mengt men een gele verf met een blauwgroene, dan ontstaat een groen mengsel, een blauwgroene en een purperkleurige verf geven blauw, en een purperkleurige en een gele verf geven rood. De drie verfstoffen kunnen samen zwart opleveren.

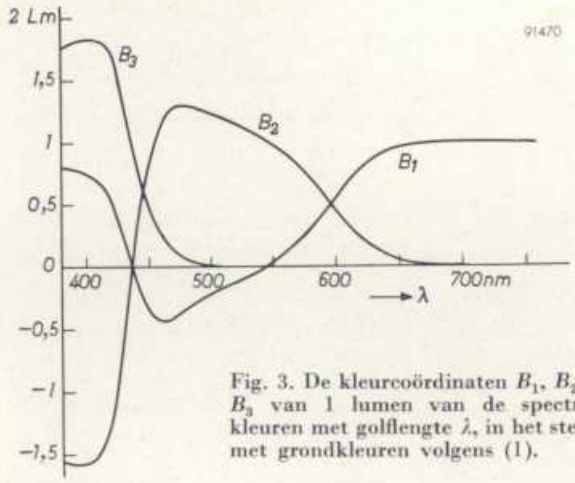


Fig. 3. De kleurcoördinaten B_1, B_2 en B_3 van 1 lumen van de spectrale kleuren met golflengte λ, in het stelsel met grondkleuren volgens (1).

van de drie gekozen grondkleuren *niet* na te bootsen.

Heeft men niet één spectrale kleur, maar licht met een bepaalde spectrale energiestroomverdeling $E(\lambda)$, dan blijkt voor de coördinaten te gelden:

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= \int \bar{B}_1(\lambda) E(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda, \\ B_2 &= \int \bar{B}_2(\lambda) E(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda, \\ B_3 &= \int \bar{B}_3(\lambda) E(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

De grootheden $\bar{B}_1(\lambda)$, $\bar{B}_2(\lambda)$ en $\bar{B}_3(\lambda)$ vindt men grafisch voorgesteld in *fig. 4*.

Men ziet dus dat de kleurcoördinaten van een mengsel van spectrale kleuren gewoon additief zijn. Deze additiviteit geldt niet alleen voor spectrale kleuren, maar, zoals duidelijk zal zijn, ook algemeen bij willekeurige spectrale verdelingen.

Twee lichtsoorten met dezelfde verhouding $B_1 : B_2 : B_3$ hebben dezelfde „kleursoort" (verder kortweg „kleur" genoemd), maar zij verschillen in het algemeen in luminantie. Dit begrip is door de Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.) gedefinieerd als de lichtstroom

$$K \int V(\lambda)\, E(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

per eenheid van oppervlakte en per eenheid van

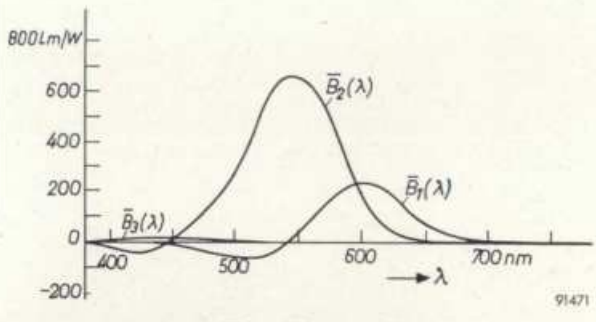


Fig. 4. De grootheden $\bar{B}_1(\lambda)$, $\bar{B}_2(\lambda)$ en $\bar{B}_3(\lambda)$ uit verg. (2), als functie van λ. Deze figuur is anders dan fig. 3, omdat nu niet is uitgegaan van de lichtstroom, maar van de energiestroom E. Fig. 4 volgt uit fig. 3 door vermenigvuldiging met de ooggevoeligheidskromme.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ruimtehoek. In (3) is de constante K = ca. 683 lumen/watt, en $V(\lambda)$ is de internationaal als gemiddelde over een groot aantal proefpersonen vastgestelde, relatieve ooggevoeligheid („relatief" wil zeggen dat het maximum van $V(\lambda)$ gelijk aan 1 is gesteld; $V(\lambda)$ is praktisch nul voor golflengten kleiner dan 400 nm en groter dan 780 nm [4]). De eenheid van luminantie is de nit: 1 nit = 1 lm per ($m^2 \times$ sterad).

Uit de additiviteitsregel volgt direct dat voor de luminantie L van elke lichtsoort geldt:

$$L = B_1 + B_2 + B_3 = \int \{\bar{B}_1(\lambda) + \bar{B}_2(\lambda) + \bar{B}_3(\lambda)\} E(\lambda)\,d\lambda.$$

Dus volgens (3)

$$KV(\lambda) = \bar{B}_1(\lambda) + \bar{B}_2(\lambda) + \bar{B}_3(\lambda). \quad . \quad . \quad (4)$$

Ter karakterisering van een lichtsoort kan men, in plaats van de coördinaten B_1, B_2 en B_3, ook drie onderling onafhankelijke lineaire combinaties van B_1, B_2 en B_3 nemen. De C.I.E. heeft als internationaal kleurcoördinatensysteem vastgesteld:

$$\left.\begin{aligned} X &= 2{,}7689\ B_1 + 0{,}38159\ B_2 + 18{,}801\ B_3, \\ Y &= \quad B_1 + \quad B_2 + \quad B_3, \\ Z &= \quad 0{,}01237\ B_2 + 93{,}060\ B_3. \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Hieruit volgt:

$$\left.\begin{aligned} X &= K \int \bar{X}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda, \\ Y &= K \int \bar{Y}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda, \\ Z &= K \int \bar{Z}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

met

$$\begin{aligned} K\bar{X}(\lambda) &= 2{,}7689\,\bar{B}_1(\lambda) + 0{,}38159\,\bar{B}_2(\lambda) + 18{,}801\,\bar{B}_3(\lambda), \\ K\bar{Y}(\lambda) &= \quad \bar{B}_1(\lambda) + \quad \bar{B}_2(\lambda) + \quad \bar{B}_3(\lambda), \\ K\bar{Z}(\lambda) &= \quad 0{,}01237\,\bar{B}_2(\lambda) + 93{,}060\,\bar{B}_3(\lambda) \end{aligned}$$

(vgl. het in [1]) aangehaalde artikel, blz. 141). $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ en $\bar{Z}(\lambda)$ zijn grafisch voorgesteld in *fig. 5*. Twee voordelen van dit X,Y,Z-systeem [5]) zijn:

1) Eén van de coördinaten, nl. Y, is identiek met de luminantie.
2) Negatieve waarden van de coördinaten komen niet voor.

Naar aanleiding van het laatstgenoemde voordeel merken wij op dat niet ieder stel waarden (X,Y,Z), hoewel geen van drieën negatief, met een bestaanbare lichtsoort correspondeert. B.v. kleuren corresponderend met punten op de coördinaatassen (twee van de drie coördinaten nul) bestaan niet. Men

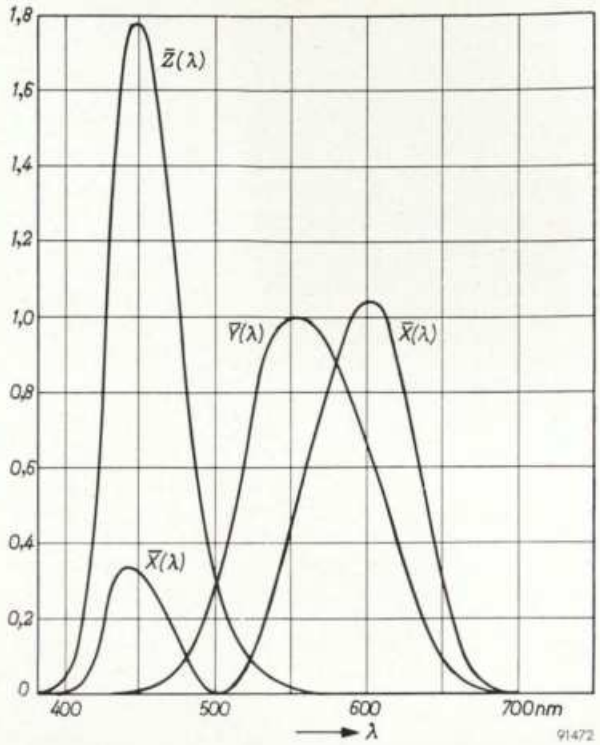


Fig. 5. De grootheden $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ en $\bar{Z}(\lambda)$ uit verg. (6) als functie van λ.

drukt dit wel uit door te zeggen: „de grondkleuren van het X,Y,Z-systeem zijn niet reëel".

Hierboven werd al opgemerkt dat lichtsoorten met dezelfde coördinatenverhouding dezelfde kleur (beter: kleursoort) hebben en alleen in luminantie verschillen. Dit geldt natuurlijk ook in het X,Y,Z-systeem. Om alleen de kleur aan te duiden, zijn dus twee getallen voldoende. Hiervoor gebruikt men vaak:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \text{en} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}. \quad . \quad (7)$$

Elke bestaande kleur kan men nu voorstellen door een punt in een plat vlak, met de coördinaten x en y. Al deze punten vullen samen de zg. kleurendriehoek (*fig. 6*) [6]). De omtrek wordt ingenomen door de spectrale kleuren en de zg. purperkleuren, het midden door wit. Van de omtrek af naar wit toe neemt de zg. verzadiging af van maximum tot nul. In het onderschrift is de regel voor additieve menging („zwaartepuntsregel") toegelicht.

Principe van de kleurentelevisie

Uitgaande van de zojuist beschreven colorimetrische beginselen, kan men zich een kleurentelevisiesysteem gerealiseerd denken op de manier die

[4]) Naast het objectieve begrip „luminantie" bestaat het subjectieve begrip „helderheid". Hoewel helderheid vrijwel parallel loopt met luminantie, doet men beter, helderheid niet kwantitatief te gebruiken.

[5]) Voor andere voordelen (bij kleurentelevisie niet van belang), zie het in [1]) genoemde boek van Bouma, hoofdstuk 5 en 6.

[6]) Voor een reproduktie in kleuren, zie Philips techn. T. **12** 145, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in *fig. 7* schematisch is voorgesteld. Van de scène komend licht L wordt gesplitst in een rode, een groene en een blauwe component. Deze drie componenten werken ieder op een opneembuis (E_r, E_g, E_b), waarvan de videosignalen over afzonderlijke kabels of radioverbindingen naar de bijbehorende weergeefbuizen (F_r, F_g, F_b) aan de ontvangzijde gaan. Deze buizen hebben resp. een rood, een groen en een blauw lichtende fosfor. Op de juiste wijze samengevoegd, leveren de drie monochromatische beelden één veelkleurig beeld. (In plaats van het hier aangeduide projectiesysteem aan de ontvangkant, dat vooral in aanmerking komt voor het maken van grote beelden, wordt voor ontvangst in de huiskamer bij voorkeur gebruik gemaakt van een speciale directzichtbuis; dit systeem zullen wij hier niet bespreken.) De versterkers, die nodig zijn om het signaal aan de weergeefbuizen op voldoende sterkte te brengen, zijn in de figuur duidelijkheidshalve weggelaten, evenals de afbuig- en de synchroniseerinrichtingen.

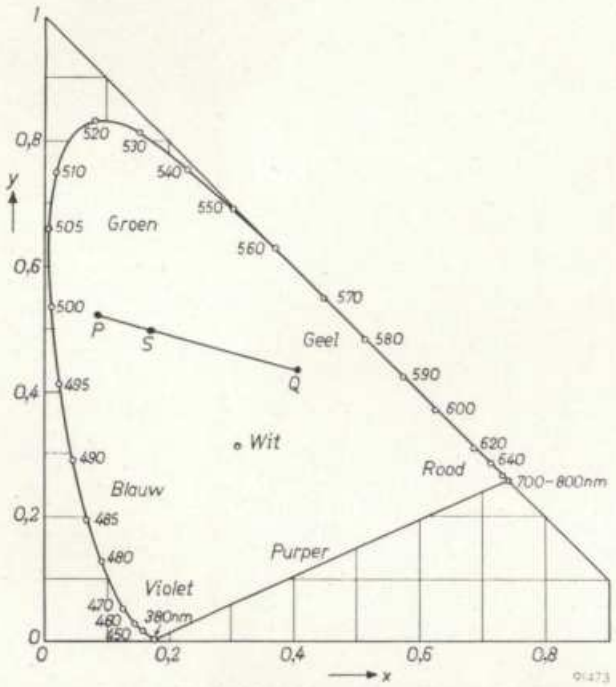


Fig. 6. De kleurendriehoek [6]). Langs de rand zijn de golflengten van de spectrale kleuren vermeld.
Regel voor additieve menging. Stel, men mengt Y_P lumen van de kleur P (met coördinaten x_P, y_P in de kleurendriehoek) met Y_Q lumen van de kleur Q (x_Q, y_Q). De internationale kleurcoördinaten X, Y en Z zijn dan:

	X	Y	Z
Kleur P	$X_P = x_P Y_P / y_P$	Y_P	$Z_P = (1-x_P-y_P) Y_P / y_P$
Kleur Q	$X_Q = x_Q Y_Q / y_Q$	Y_Q	$Z_Q = (1-x_Q-y_Q) Y_Q / y_Q$

De coördinaten van de mengkleur vindt men door optellen. Het resultaat van de menging heeft de luminantie $Y_P + Y_Q$, en zijn kleurpunt (S) volgt uit de zg. zwaartepuntsregel. Denk in P de massa $X_P + Y_P + Z_P$ aangebracht, in Q de massa $X_Q + Y_Q + Z_Q$. Het zwaartepunt S van deze massa's is dan het gezochte kleurpunt, dat dus steeds op de verbindingslijn PQ ligt. Aangezien alle lichtsoorten bestaan uit een discreet lijnenspectrum of een continu spectrum, liggen de kleurpunten van alle bestaande lichtsoorten in het gebied omsloten door de lijn van de spectrale kleuren en de zg. purperlijn.

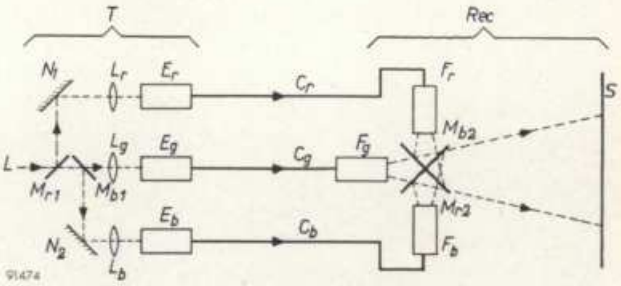


Fig. 7. Schematische voorstelling van een systeem voor kleurentelevisie.
Zendzijde T. Uit het van de scène komende licht L splitst de rood reflecterende spiegel M_{r_1} het rode bestanddeel af, dat via de gewone spiegel N_1 en de lens L_r op de „rode" opneembuis E_r wordt geworpen. Het blauwe bestanddeel bereikt via de blauw reflecterende spiegel M_{b_1}, de gewone spiegel N_2 en de lens L_b de „blauwe" opneembuis E_b. Het groene bestanddeel gaat door M_{r_1} en M_{b_1} heen en komt door de lens L_g op de „groene" opneembuis E_g. Afzonderlijke kabels of radioverbindingen C_r, C_g en C_b brengen het „rode", het „groene" en het „blauwe" signaal naar de
Ontvangzijde *Rec*, waar zij op de weergeefbuizen F_r, F_g en F_b, met resp. rood, groen en blauw lichtende fosfor, een beeld van overeenkomstige kleur opwekken. Deze weergeefbuizen behoren ieder tot een projector. Door middel van de kleursplitsende spiegels M_{r_2} en M_{b_2} worden de drie beelden nauwkeurig samenvallend geprojecteerd op een scherm S. (Daar de bundels hier een grote doorsnede hebben, heeft het zin, elkaar snijdende kleursplitsende spiegels te gebruiken, zie [7]).)

Het splitsen van het binnenkomende licht in drie componenten aan de zendkant zowel als het samenvoegen van de drie beelden aan de ontvangzijde kan gebeuren met behulp van kleursplitsende spiegels, d.z. spiegels die een deel van het spectrum goed reflecteren en het overige deel goed doorlaten. Onlangs is in dit tijdschrift de op interferentie berustende werking van deze spiegels verklaard en de vervaardiging ervan, door opdampen van dunne laagjes, besproken [7]). Ook het principe van het samenvoegen van de drie beelden is daar al uiteengezet: de rood reflecterende spiegel M_{r_2} (fig. 7) laat groen en blauw door, de blauw reflecterende spiegel M_{b_2} laat groen en rood door, en met behulp hiervan kunnen de drie verschillend gekleurde beelden die op de weergeefbuizen (i.c. projectiebuizen) verschijnen, nauwkeurig samenvallend en met weinig lichtverlies op een scherm S worden geprojecteerd. Bij een latere gelegenheid zal uitvoeriger op dit projectiesysteem worden ingegaan.

Ook de manier waarop het binnenkomende licht in drie componenten wordt gesplitst, door middel van de kleursplitsende spiegels M_{r_1} en M_{b_1} en de gewone spiegels N_1 en N_2, is in fig. 7 geschetst. Dit zal geen verdere toelichting behoeven.

[7]) P. M. van Alphen, Philips techn. T. **19**, 50-58, 1957 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Opgemerkt zij alleen nog dat in de drie lichtwegen kleurfilters kunnen worden geplaatst om de vereiste spectrale gevoeligheden beter te benaderen; hierop komen wij nog terug.

Aan de hand van dit tot zijn allereenvoudigste vorm teruggebrachte kleurentelevisiesysteem zullen wij nu verschillende kwesties nader beschouwen.

Keuze van de grondkleuren

Een kleur die door additieve menging van twee andere kleuren ontstaat, ligt in de kleurendriehoek steeds op de verbindingslijn van die twee kleuren, op een plaats die volgt uit de zwaartepuntsregel (fig. 6). Uitgaande van drie grondkleuren, kan men dus slechts de kleuren realiseren die liggen binnen (of op de omtrek van) de driehoek gevormd door de kleurpunten van de drie gekozen grondkleuren. Deze driehoek moet derhalve voldoende groot zijn en vooral het praktisch belangrijke gedeelte van de kleurendriehoek omvatten. Uit de ligging van de kleuren in de kleurendriehoek volgt direct dat ruwweg rood, groen en blauw de aangewezen grondkleuren zijn.

Wil men de voor een televisiesysteem te kiezen grondkleuren nader preciseren, dan moet men enige belangrijke praktische overwegingen in aanmerking nemen. Het is wenselijk dat aan de weergeefzijde de drie grondkleuren kunnen worden opgewekt door middel van bekende fosforen, en dat dit geschiedt met een zodanig rendement dat de vereiste luminantie wordt verkregen zonder dat aan de weergeefbuizen een al te groot vermogen moet worden toegevoerd. Deze gezichtspunten hebben in de Verenigde Staten geleid tot de volgende keuze van grondkleuren:

	x	y	
rood . . .	0,67	0,33	
groen . . .	0,21	0,71	. . . . (8)
blauw . . .	0,14	0,08	

In *fig. 8* zijn deze kleurpunten (die enigszins verschillen van de in (1) genoemde spectrale grondkleuren) aangeduid met *R*, *G* en *B*. Met deze grondkleuren kan men dus alle kleuren realiseren waarvan het kleurpunt binnen (of op) de driehoek *RGB* ligt. Gebleken is dat vrijwel alle in de natuur voorkomende kleuren en ook die van de gebruikelijke verfstoffen (begrensd door de contour *1* in fig. 8) binnen deze driehoek vallen. Vergeleken met andere, welbekende, procédés voor kleurenreproduktie (kleurenfotografie b.v.), is het bestreken gedeelte van de kleurendriehoek gunstig te noemen (vgl. de contour *2* in fig. 8 met de driehoek *RGB*).

In de verdere discussie baseren wij ons op de grondkleuren (8).

Weergave van wit

Bijzondere aandacht verdient de weergave van wit. Het kleurpunt van het wit zoals een weergeefbuis voor zwart-wittelevisie dat uitstraalt, ligt gewoonlijk in de buurt van het zg. standaardwit C (punt *C* in fig. 8), met de coördinaten $x = 0{,}310$, $y = 0{,}316$. Deze kleur wordt algemeen als een

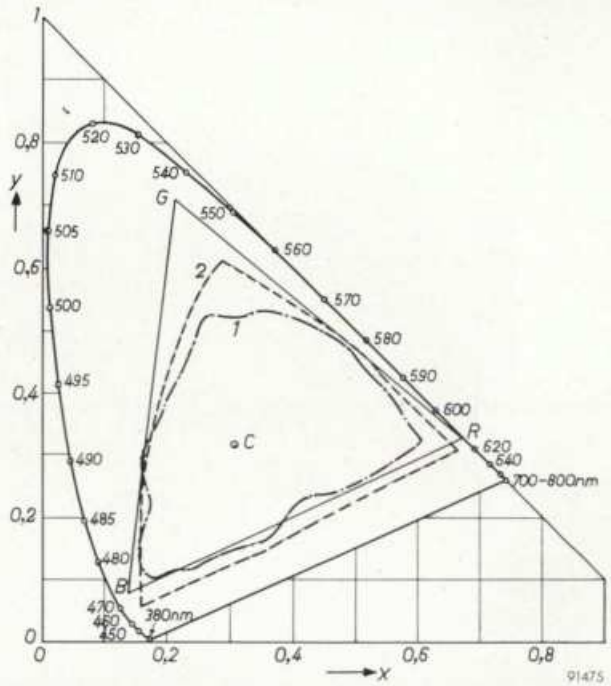


Fig. 8. Kleurendriehoek, met in *C* het kleurpunt van standaardwit C ($x = 0{,}310$, $y = 0{,}316$). *R*, *G* en *B* zijn de voor kleurentelevisie gekozen grondkleuren, met coördinaten volgens (8). Door additieve menging kunnen alle kleuren worden verwezenlijkt waarvan het kleurpunt binnen of op de driehoek *RGB* ligt. Dit is gunstiger dan wat mogelijk is bij het kleurenfilmprocédé (met subtractieve menging), waarvan de contour *2* de realiseerbare kleuren begrenst. Binnen de contour *1* liggen de in de natuur voorkomende reflectiekleuren en de reflectiekleuren van alle bekende verfstoffen en drukinkten.

goede keus aanvaard. Het ligt voor de hand, ook bij kleurentelevisie deze kleur wit te noemen, dus een ongekleurd voorwerp in de scène weer te geven met standaardwit C. Een korte berekening leert dat we, om 1 nit van dit witte licht samen te stellen uit de drie grondkleuren (8), nodig hebben: 0,30 nit rood, 0,59 nit groen en 0,11 nit blauw.

Deze berekening gaat als volgt. Bij 1 nit wit licht met $x = 0{,}310$, $y = 0{,}316$, $z = 1 - (x+y) = 0{,}374$ behoren de volgende waarden van X, Y en Z:

$$X_w = \frac{x}{y} = \frac{0{,}310}{0{,}316} = 0{,}980,$$

$$Y_w = 1{,}000,$$

$$Z_w = \frac{z}{x} X_w = \frac{0{,}374}{0{,}310} \times 0{,}980 = 1{,}184.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

l_r nit rood met $x = 0{,}67$, $y = 0{,}33$, $z = 0$ geeft:

$$\left.\begin{aligned} X_r &= \frac{0{,}67}{0{,}33} l_r = 2{,}03\, l_r, \\ Y_r &= 0{,}33\, l_r, \\ Z_r &= 0. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9a)$$

l_g nit groen met $x = 0{,}21$, $y = 0{,}71$, $z = 0{,}08$ geeft:

$$\left.\begin{aligned} X_g &= \frac{0{,}21}{0{,}71} l_g = 0{,}296\, l_g, \\ Y_g &= l_g, \\ Z_g &= \frac{0{,}08}{0{,}71} l_g = 0{,}113\, l_g. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9b)$$

l_b nit blauw met $x = 0{,}14$, $y = 0{,}08$, $z = 0{,}78$ geeft:

$$\left.\begin{aligned} X_b &= \frac{0{,}14}{0{,}08} l_b = 1{,}75\, l_b, \\ Y_b &= l_b, \\ Z_b &= \frac{0{,}78}{0{,}08} l_b = 9{,}75\, l_b. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9c)$$

Om bij additieve menging van l_r nit van dit rood, l_g nit van dit groen en l_b nit van dit blauw juist 1 nit standaardwit C te krijgen, moeten wij ervoor zorgen dat de volgende betrekkingen bestaan:

$$\begin{aligned} X_w &= 2{,}03\, l_r + 0{,}296\, l_g + 1{,}75\, l_b = 0{,}980, \\ Y_w &= l_r + l_g + l_b = 1{,}000, \\ Z_w &= 0{,}113\, l_g + 9{,}75\, l_b = 1{,}184. \end{aligned}$$

Uit deze drie vergelijkingen kan men l_r, l_g en l_b oplossen. Men vindt: $l_r = 0{,}298$ nit, $l_g = 0{,}588$ nit, $l_b = 0{,}114$ nit (afgerond: 0,30, 0,59 en 0,11 nit).

Luminantiesignaal

Het is gebruikelijk, bij kleurentelevisie de signaalamplitude zo te normeren dat voor wit de signalen R (rood), G (groen) en B (blauw) even sterk zijn, zodat voor wit geldt:

$$R = G = B.$$

Bovendien is het gewoonte, de signaalwaarden bij het wit met de grootste luminantie die in de scène voorkomt, 1 te noemen. Voor dit wit van maximale luminantie is dus:

$$R = G = B = 1.$$

Wordt dit wit weergegeven met de luminantie L, dan draagt de rode grondkleur hiertoe bij: 0,30 L, de groene: 0,59 L, en de blauwe: 0,11 L; de som is natuurlijk juist L. Deze luminantiebijdragen zijn dus in dit geval de luminanties van de grondkleuren die corresponderen met de signaalwaarden 1.

Voor het gemak zullen wij nu onderstellen dat de weergeefinrichting lineair werkt, d.w.z. dat voor iedere grondkleur de geproduceerde lichtstroom evenredig is met de signaalsterkte R, G of B. Dan zijn dus voor elke waarde van R, G en B de luminantiebijdragen resp. 0,30 RL (rood), 0,59 GL (groen) en 0,11 BL (blauw). Voor elke kleur geldt dan dat de luminantie gelijk is aan

$$(0{,}30\, R + 0{,}59\, G + 0{,}11\, B)L.$$

De lineaire combinatie

$$H = 0{,}30\, R + 0{,}59\, G + 0{,}11\, B \quad \ldots \quad (10)$$

noemt men het luminantiesignaal. Voor wit met de maximale luminantie ($R = G = B = 1$) is $H = 1$. Het luminantiesignaal komt overeen met het normale videosignaal van de zwart-wittelevisie.

Nog steeds lineaire werking van de weergeefinrichting onderstellend, kan men als volgt de signalen R, G en B berekenen die nodig zijn om een kleur met coördinaten X, Y, Z voort te brengen.

Volgens de bovengenoemde normering van R, G en B correspondeert $R = 1$ met 0,298 L nit van de grondkleur rood,
$G = 1$ met 0,588 L nit van de grondkleur groen,
$B = 1$ met 0,114 L nit van de grondkleur blauw.
Uit (9a), (9b) en (9c) volgt nu direct dat bij gegeven R, G en B de coördinaten X, Y en Z van de weergegeven kleur voldoen aan:

$$\begin{aligned} X &= 2{,}03 \times 0{,}298\, RL + 0{,}296 \times 0{,}588\, GL + 1{,}75 \times 0{,}114\, BL, \\ Y &= 0{,}298\, RL + 0{,}588\, GL + 0{,}114\, BL, \\ Z &= 0{,}113 \times 0{,}588\, GL + 9{,}75 \times 0{,}114\, BL. \end{aligned}$$

Hiervoor kan men schrijven:

$$\begin{aligned} \frac{X}{L} &= 0{,}604\, R + 0{,}174\, G + 0{,}200\, B, \\ \frac{Y}{L} &= 0{,}298\, R + 0{,}588\, G + 0{,}114\, B, \\ \frac{Z}{L} &= 0{,}000\, R + 0{,}0664\, G + 1{,}112\, B. \end{aligned}$$

Voor R, G en B in afhankelijkheid van X, Y en Z vindt men hieruit:

$$\left.\begin{aligned} RL &= 1{,}92\ X - 0{,}535\ Y - 0{,}290\ Z, \\ GL &= -0{,}984\ X + 2{,}00\ Y - 0{,}0274\ Z, \\ BL &= 0{,}0588\ X - 0{,}119\ Y + 0{,}901\ Z. \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (11)$$

In feite werken de gebruikelijke weergeefinrichtingen niet lineair. Dit maakt bepaalde wijzigingen in bovenstaande beschouwing nodig (gammacorrectie), waarover meer aan het slot van dit artikel.

Signalen R, G en B aan de opneemkant

Nu willen wij nog enkele woorden zeggen over het opwekken van de signalen R, G en B aan de opneemkant.

Is $E(\lambda)$ de spectrale energiestroomverdeling van een bepaalde kleur in de scène, dan kan men voor de op te wekken signalen schrijven:

$$\left.\begin{aligned} R &= \int \bar{R}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda, \\ G &= \int \bar{G}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda, \\ B &= \int \bar{B}(\lambda)\, E(\lambda)\, d\lambda. \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (12)$$

$\bar{R}(\lambda)$, $\bar{G}(\lambda)$ en $\bar{B}(\lambda)$ zijn de totale spectrale gevoeligheden van de drie kanalen. Hoe moet men deze kiezen om een exacte kleurweergave te krijgen? Het ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

loop dat $\bar{R}(\lambda)$, $\bar{G}(\lambda)$ en $\bar{B}(\lambda)$ daartoe als functie van λ moeten hebben, kan worden berekend; het resultaat (afgezien van de constante L/K) is weergegeven in *fig. 9*. Exacte kleurweergave is alleen mogelijk voor de kleuren binnen de driehoek RGB; slechts voor die kleuren is geen van de signalen R, G en B negatief.

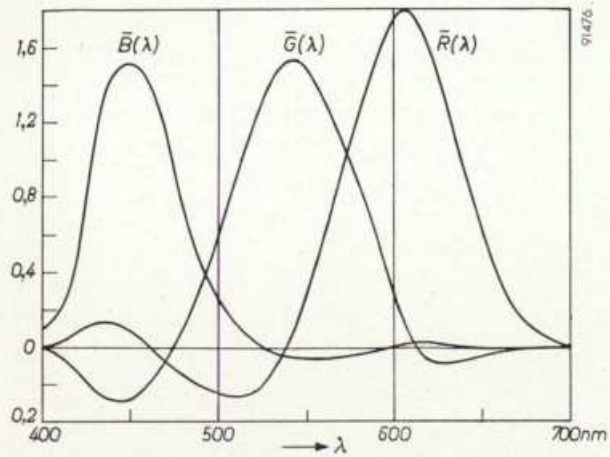


Fig. 9. Voor exacte kleurweergave moeten volgens berekening de grootheden $\bar{R}(\lambda)$, $\bar{G}(\lambda)$ en $\bar{B}(\lambda)$ uit verg. (12) van λ afhangen zoals hier is weergegeven.

Uit (11) en (6) volgt dat voor exacte kleurweergave de signalen R, G en B moeten voldoen aan:

$$\frac{L}{K}R = 1{,}92 \int \bar{X}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda - 0{,}535 \int \bar{Y}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda - 0{,}290 \int \bar{Z}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda,$$

$$\frac{L}{K}G = -0{,}984 \int \bar{X}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda + 2{,}00 \int \bar{Y}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda - 0{,}0274 \int \bar{Z}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda,$$

$$\frac{L}{K}B = 0{,}0588 \int \bar{X}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda - 0{,}119 \int \bar{Y}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda + 0{,}901 \int \bar{Z}(\lambda)\,E(\lambda)\,d\lambda.$$

Door deze drie betrekkingen te vergelijken met (12), vindt men direct:

$$\frac{L}{K}\bar{R}(\lambda) = 1{,}92\ \bar{X}(\lambda) - 0{,}535\ \bar{Y}(\lambda) - 0{,}290\ \bar{Z}(\lambda),$$

$$\frac{L}{K}\bar{G}(\lambda) = -0{,}984\ \bar{X}(\lambda) + 2{,}00\ \bar{Y}(\lambda) - 0{,}0274\ \bar{Z}(\lambda),$$

$$\frac{L}{K}\bar{B}(\lambda) = 0{,}0588\ \bar{X}(\lambda) - 0{,}119\ \bar{Y}(\lambda) + 0{,}901\ \bar{Z}(\lambda).$$

Hierin zijn $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ en $\bar{Z}(\lambda)$ bekende functies van λ: de zg. spectrale distributiekrommen voor het „spectrum van constante energiestroom", die ook voorkomen in (6), zie fig. 5.

Men ziet in fig. 9 dat in bepaalde golflengtegebieden een negatieve gevoeligheid wordt verlangd. Daar deze niet op eenvoudige wijze te realiseren is, en de fouten die door verwaarlozing hiervan in de kleurweergave ontstaan, niet groot zijn, laat men gewoonlijk de negatieve delen van de krommen buiten beschouwing.

Voor zover overigens de spectrale gevoeligheid van de desbetreffende opneembuis, in combinatie met de selectieve werking van de kleursplitsende spiegel(s), niet geheel verloopt volgens de krommen van fig. 9, moet men trachten de afwijking te corrigeren door in de lichtweg een filter op te nemen. *Fig. 10* licht dit toe voor het groene licht. De krommen D_b en D_r in fig. 10*a* geven de doorlating van de blauw resp. rood reflecterende spiegel. Vermenigvuldigt men deze ordinaten met elkaar, dan ontstaat de kromme D_bD_r, die weergeeft hoe het licht wordt doorgelaten dat door beide spiegels heen gaat. Men ziet dat behalve het gewenste groene licht ook vrij veel blauw wordt doorgelaten. Dit is niet meer het geval indien men het licht ook nog laat gaan door het filter waarvan in fig. 10*b* de doorlating D_f is getekend. Deze figuur geeft ook de doorlating $D_bD_rD_f$ van de twee spiegels en het filter samen. De spectrale gevoeligheid van de opneembuis zelf (een vidicon) is gegeven door de kromme V in fig. 10*c*, de totale spectrale gevoeligheid van de buis in combinatie met de beide spiegels en het filter door de kromme $D_bD_rD_fV$; de laatste is ook zo getekend dat de top komt te liggen bij 100%. Met deze kromme is het theoretische verloop van $\bar{G}(\lambda)$ in fig. 9 in voldoende mate benaderd.

Transmissiesystemen

Brengt men in fig. 7 de drie videosignalen van de zender naar de ontvanger over door middel van een draaggolf, waarop zij zijn gemoduleerd, dan vergt dit in totaal een drie maal zo grote bandbreedte als het overbrengen van een zwart-witsignaal met even grote definitie. Het spreekt vanzelf dat men heeft gezocht naar mogelijkheden om deze bandbreedte te verminderen zonder veel afbreuk te doen aan de beeldkwaliteit.

Om te beginnen, kan men proberen wat het effect is van het verkleinen van de bandbreedte van één of meer van de grondkleursignalen. Een kleine vermindering van de bandbreedte van het groen geeft al direct een hinderlijke onscherpte. Bij het rood is een kleine vermindering van bandbreedte veel minder hinderlijk. De bandbreedte van het blauw kan men aanmerkelijk verkleinen alvorens dit in een normaal beeld storend wordt. Blijkbaar kan men de bandbreedte meer beperken naarmate het desbetreffende signaal minder tot de luminantie bijdraagt ($H = 0{,}30\ R + 0{,}59\ G + 0{,}11\ B$).

Met een nog kleinere totale bandbreedte kan men volstaan indien men niet de signalen R, G en B zelf overbrengt, maar drie onderling onafhankelijke lineaire combinaties ervan, waarvan er één het luminantiesignaal $H = 0{,}30\ R + 0{,}59\ G + 0{,}11\ B$ is; de twee andere lineaire combinaties noemen wij

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

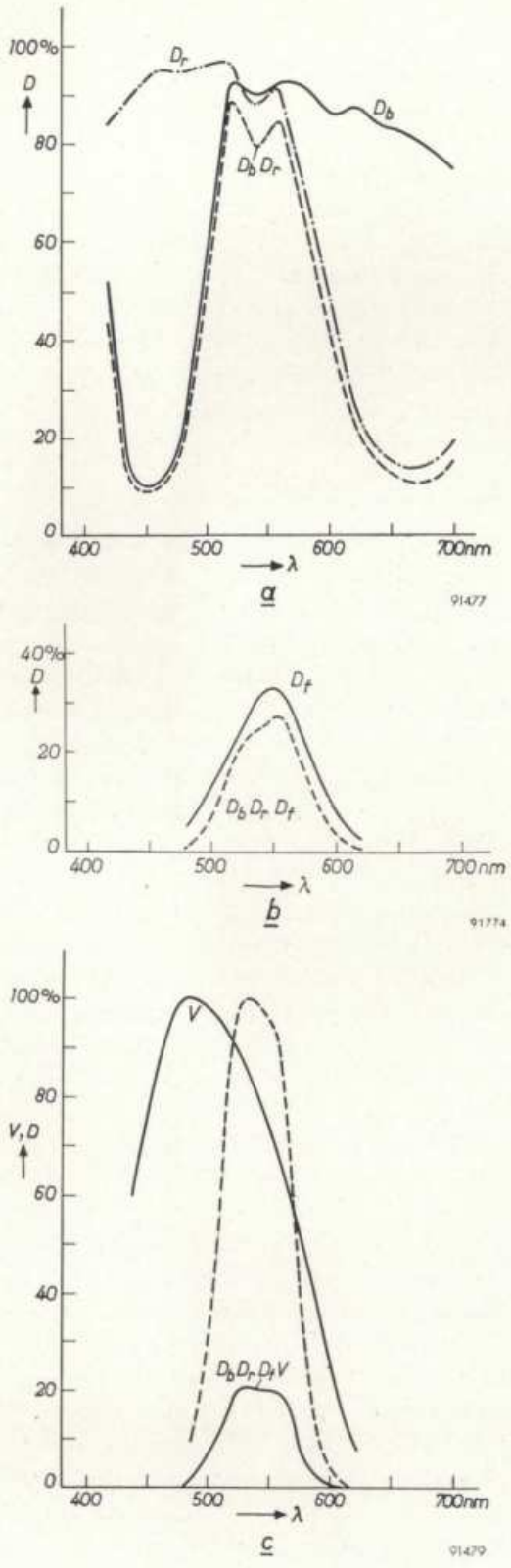


Fig. 10. *a*) Doorlating van kleursplitsende spiegels als functie van λ: D_r voor een rood reflecterende, D_b voor een blauw reflecterende. $D_b D_r$ geldt voor licht dat beide spiegels passeert. *b*) D_f doorlating van een correctiefilter („Kodak" 52). $D_b D_r D_f$ doorlating van de beide spiegels en het filter samen. *c*) V spectrale gevoeligheid van de „groene" opneembuis (vidicon). $D_b D_r D_f V$ totale spectrale gevoeligheid van opneembuis met spiegels en filter. Deze kromme is gestippeld overgetekend met de top bij 100%.

S_1 en S_2. Aan de ontvangkant krijgt men de signalen R, G en B terug door van H, S_1 en S_2 de juiste lineaire combinaties te vormen. Het signaal H bepaalt de totale luminantie aan de weergeefkant, terwijl S_1 en S_2 alleen invloed op de kleur hebben. De scherpte-indruk van het verkregen beeld wordt vooral bepaald door de bandbreedte van het luminantiesignaal H. De bandbreedte van de kleursignalen S_1 en S_2 kan men sterk verminderen zonder dat dit de beeldkwaliteit merkbaar benadeelt.

Het luminantiesignaal komt geheel overeen met een normaal zwart-wit videosignaal, zoals wij boven al hebben opgemerkt. Gebruikt men de Gerbernorm (het 625-lijnensysteem van het Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.)) met de videobandbreedte van 5 MHz voor het signaal H, dan is een bandbreedte van b.v. 1 MHz voor S_1 en voor S_2 voldoende voor het maken van een goed kleurenbeeld. De totale bandbreedte is dan dus $5+1+1 = 7$ MHz, tegenover $5+5+5 = 15$ MHz voor het geval dat men R, G en B elk de volle bandbreedte zou geven.

In *fig. 11* is het bedoelde systeem met de signalen H, S_1 en S_2 schematisch voorgesteld. De kleursignalen aan de ingang van de ontvanger *Rec* missen de componenten met frequenties boven 1 MHz; zij zijn daarom ter onderscheiding aangeduid met

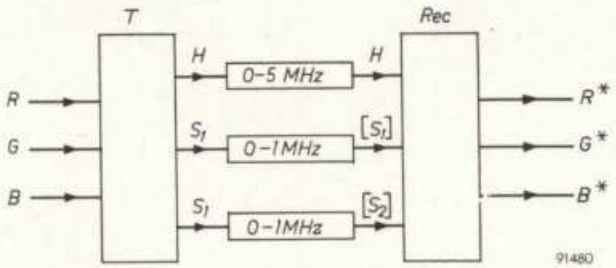


Fig. 11. Kleurentelevisiesysteem waarbij de overgebrachte signalen bestaan uit een luminantiesignaal H en twee kleursignalen, S_1 en S_2, die lineaire combinaties van de signalen R, G en B zijn. Van de zender T naar de ontvanger *Rec* wordt het signaal H overgebracht met een bandbreedte van 5 MHz, de signalen S_1 en S_2 met een bandbreedte van b.v. 1 MHz.

vierkante haken: $[S_1]$ en $[S_2]$. Wegens dit verschil zijn de grondkleursignalen R^*, G^* en B^* die in de ontvanger worden gevormd, niet dezelfde als de oorspronkelijke grondkleursignalen R, G en B. De componenten van R^*, G^* en B^* boven 1 MHz verschillen niet van elkaar, want zij zijn alle uitsluitend afkomstig van het luminantiesignaal H. Men noemt dit in Amerika een „mixed-highs system". Het verkregen beeld is, zoals uit het voorgaande volgt, alleen voor de componenten beneden 1 MHz een driekleurenbeeld; de componenten

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

boven 1 MHz, die de fijne details leveren, zijn toegevoegd in zwart-wit. Het resultaat is in de meeste gevallen voor het oog niet te onderscheiden van een volledig driekleurenbeeld met alle componenten tot 5 MHz.

Doet men voor S_1 en S_2 de volgende keus:

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= R-H, \\ S_2 &= B-H, \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

dan krijgt men aan de ontvangzijde de signalen R^* en B^* als som van het luminantiesignaal H en het kleursignaal $[S_1]$ resp. $[S_2]$:

$$R^* = H + [S_1], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14a)$$

$$B^* = H + [S_2]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14b)$$

Het signaal G^* ontstaat op iets ingewikkelder wijze. Uit (10) en (13) volgt, als vierkante haken weer de beperking in bandbreedte aanduiden:

$$0{,}30\,[R-H] + 0{,}59\,[G-H] + 0{,}11\,[B-H] = 0,$$

dus

$$[G-H] = -\frac{0{,}30}{0{,}59}[S_1] - \frac{0{,}11}{0{,}59}[S_2], \quad . \quad (15)$$

en

$$G^* = H + [G-H]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

De vier bewerkingen die men aan de ontvangzijde moet uitvoeren om uit de beschikbare signalen H, $[S_1]$ en $[S_2]$ de signalen R^*, G^* en B^* af te leiden, zijn dus:

1) H en $[S_1]$ optellen; volgens (14a) levert dit R^*.
2) H en $[S_2]$ optellen; volgens (14b) levert dit B^*.
3) Bepaalde fracties van $[S_1]$ en $[S_2]$ samenvoegen; volgens (15) levert dit $[G-H]$.
4) H en $[G-H]$ optellen; volgens (16) levert dit G^*.

Opgemerkt zij nog dat men (14a), (14b) en (16) als volgt kan schrijven:

$$\left.\begin{aligned} R^* &= H + [R] - [H] = [R] + H_h, \\ B^* &= H + [B] - [H] = [B] + H_h, \\ G^* &= H + [G] - [H] = [G] + H_h, \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

waarin $H_h = H - [H]$ de luminantiesignaalcomponenten met hoge frequenties voorstelt (de „mixed highs"). Uit (17) blijkt duidelijk dat R^*, G^* en B^*, zoals zoëven werd opgemerkt, dezelfde componenten (H_h) met hoge frequenties bevatten.

Wanneer men het luminantiesignaal H, als ware het een gewoon zwart-wit videosignaal, moduleert op een draaggolf, en deze, samen met een geluidsdraaggolf, in een televisiekanaal uitzendt, dan is er in het geheel geen verschil met een zwart-wit-uitzending. Zwart-witontvangers zullen zo'n uitzending dus normaal in zwart-wit weergeven. Hiermee is voldaan aan de eis van „compatibility" — wat, gezien het grote aantal zwart-witontvangers in vele landen, praktisch van groot gewicht is.

Nu resteert nog de vraag, hoe men $[S_1]$ en $[S_2]$ moet uitzenden zodanig dat een kleurentelevisieontvanger een kleurenbeeld levert. Men zou natuurlijk $[S_1]$ en $[S_2]$ elk afzonderlijk op een draaggolf buiten het televisiekanaal kunnen moduleren. Hiervoor is echter in het frequentieverdelingsplan zoals dat thans algemeen is aanvaard (voor Europa het plan van Stockholm, 1952), geen plaats. Men heeft daarom gezocht naar mogelijkheden om de signalen $[S_1]$ en $[S_2]$ onder te brengen *in* het gebruikte kanaal zelf.

Systeem met twee hulpdraaggolven

Voegt men aan een videosignaal een signaal toe met een frequentie f die een geheel aantal malen de lijnfrequentie f_l is ($f = mf_l$), dan ontstaat in het beeld een storend patroon van verticale strepen. Immers, de maxima die het storende signaal in iedere lijn teweegbrengt, vallen juist beneden de overeenkomstige maxima in de voorafgaande lijn (*fig. 12a*), en bij alle volgende aftastingen komen de maxima weer op dezelfde plaats terecht. Geeft men daarentegen het toegevoegde signaal een frequentie die juist midden tussen twee veelvouden van de lijnfrequentie in ligt: $f = (m+\frac{1}{2})f_l$, dan zijn de maxima en minima in opeenvolgende lijnen 180° ten opzichte van elkaar verschoven (fig. 12*b*). Doordat het totale aantal lijnen van een volledig beeld oneven is, is bovendien ook bij de opeenvolgende aftastingen van dezelfde lijn (dus telkens één beeldtijd later) de faze van het toegevoegde signaal 180° verschoven: op ieder punt waar bij de ene volledige aftasting een maximum ontstaat, treedt bij de volgende volledige aftasting juist een minimum op. Dank zij de traagheid van het oog stoort zulk een toegevoegd signaal veel minder dan een signaal met $f = mf_l$. Men kan van een signaal met $f = (m+\frac{1}{2})f_l$ dan ook een vrij grote amplitude toelaten zonder nadelige invloed op het zwart-witbeeld, vooral indien f niet te laag is.

Van het bovenstaande kan men gebruik maken om aan het luminantiesignaal een videofrequente draaggolf, gemoduleerd met b.v. het signaal $[S_1]$, toe te voegen, zodanig dat op een zwart-witontvanger geen storing ontstaat. Daartoe moet deze hulpdraaggolf een frequentie hebben die $(m + \frac{1}{2})$ maal de lijnfrequentie f_l is. Weliswaar gaat de redenering van zoëven, strikt genomen, niet meer op bij bewegende objecten, maar in de praktijk blijkt dat ook dan nog een vrij grote amplitude van het toegevoegde signaal toelaatbaar is. Het tweede kleur-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

signaal, $[S_2]$, zou men kunnen moduleren op een tweede hulpdraaggolf.

Op deze wijze werkte één van de twee systemen die in april 1955 en april 1956 te Eindhoven zijn gedemonstreerd voor de studiecommissie voor kleurentelevisie van het C.C.I.R. [8]).

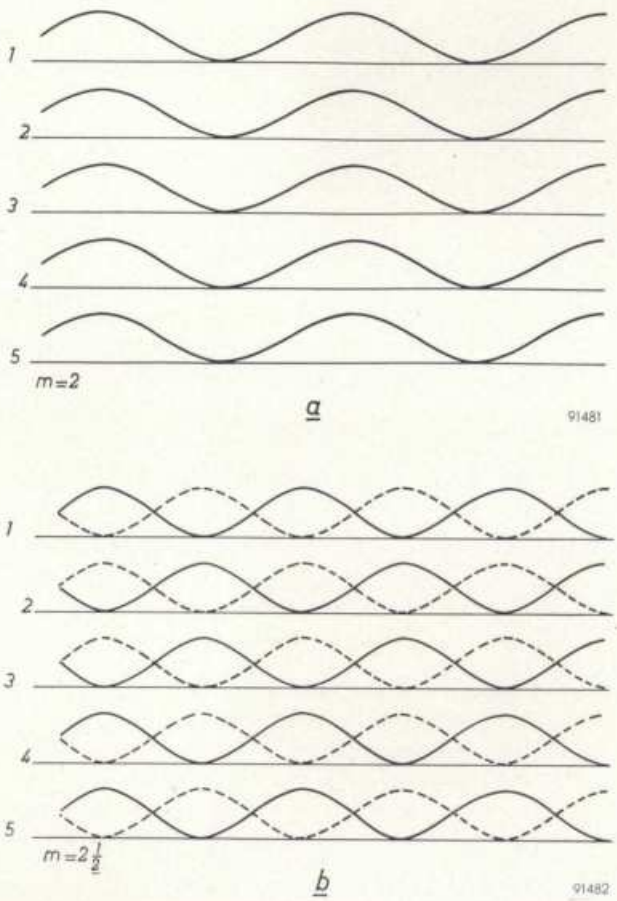


Fig. 12. Helderheidsverloop (als gevolg van een storend signaal met frequentie f) van de lijnen 1, 3, 5, . . . , 2, 4, . . . van een televisieraster, *a*) voor $f = 2$ maal de lijnfrequentie f_l, *b*) voor $f = 2\frac{1}{2}\, f_l$. Bij (*a*) komen de maxima recht boven elkaar en bij elke volgende volledige aftasting weer op dezelfde plaats. Bij (*b*) komen de maxima van de ene lijn onder de minima van de direct daarvóór geschreven lijn, en bij de opeenvolgende volledige aftastingen wisselen maxima en minima elkaar af (getrokken lijn en gestippelde lijn).

N.T.S.C.-systeem

Een andere mogelijkheid, bij dezelfde gelegenheden eveneens te Eindhoven gedemonstreerd, is vooral in Amerika ontwikkeld en wordt aldaar bij de officiële kleurentelevisie-uitzendingen gebruikt. Bij dit „N.T.S.C.-systeem" (zo genoemd naar het National Television System Committee, dat het kleurentelevisiewerk in de Verenigde Staten heeft gecoördineerd [9])) moduleert men $[S_1]$ en $[S_2]$ ook weer elk op een hulpdraaggolf, maar deze twee hulpdraaggolven hebben nu dezelfde frequentie en zijn 90° in faze ten opzichte van elkaar verschoven:

$$[S_1] \cos \omega_a t + [S_2] \sin \omega_a t,$$

waarin ω_a de hoekfrequentie van de hulpdraaggolf is.

Om $[S_1]$ en $[S_2]$ in de ontvanger weer van elkaar te scheiden, kan men nu geen conventionele amplitudedetectors gebruiken, want die reageren alleen op de totale amplitude, $\sqrt{[S_1]^2+[S_2]^2}$. Scheiding is echter wèl mogelijk met zg. synchrone detectie. Vermenigvuldigt men (b.v. met behulp van een mengbuis) het totale kleurinformatiesignaal

$$[S_1] \cos \omega_a t + [S_2] \sin \omega_a t$$

met $2 \cos \omega_a t$, dan krijgt men:

$$2[S_1] \cos^2 \omega_a t + 2[S_2] \sin \omega_a t \cos \omega_a t = \\ = [S_1] + [S_1] \cos 2\omega_a t + [S_2] \sin 2\omega_a t.$$

Mits de hulpdraaggolffrequentie $\omega_a/2\pi$ hoog genoeg is (groter dan de bandbreedte van $[S_1]$), blijft hiervan na het doorlopen van een geschikt laag doorlatend filter alleen het signaal $[S_1]$ over. Op analoge wijze krijgt men het signaal $[S_2]$ terug.

Voor deze synchrone detectie heeft men in de ontvanger de hulpsignalen $\cos \omega_a t$ en $\sin \omega_a t$ nodig. Deze verkrijgt men doordat de zender na elke lijnsynchronisatie-impuls een golftreintje („burst") uitzendt, van een bepaald aantal (b.v. acht) trillingen van de hulpdraaggolffrequentie, en een bepaalde faze, b.v. de cosinusfaze. In de ontvanger kan men met dit golftreintje een oscillator synchroniseren, om zo het ene hulpsignaal, en, na 90° fazeverschuiving, ook het andere hulpsignaal te verkrijgen.

Maakt men voor S_1 en S_2 de eerder genoemde keus (13): $S_1 = R - H$ en $S_2 = B - H$, eventueel nog ieder vermenigvuldigd met een constante factor:

$$S_1 = a(R-H) \text{ en } S_2 = \beta(B-H),$$

dan is het totale kleurinformatiesignaal (zie *fig. 13*):

$$S = a(R-H) \cos \omega_a t + \beta(B-H) \sin \omega_a t. \quad (18)$$

Voor wit (en grijs) is dit signaal nul. Toenemende amplitude ervan, bij gelijkblijvend luminantiesignaal, komt overeen met toenemende verzadiging

[8]) J. Haantjes en K. Teer, Compatible colour-television, I. Two sub-carrier system, II. Comparison of two sub-carrier and N.T.S.C. systems, Wir. Engr. **33**, 3-9 en 39-46, 1956 (nos. 1 en 2).

[9]) D. G. Fink, Color television standards; selected papers and records of the N.T.S.C., McGraw-Hill, New York 1955. Hazeltine Labs. Staff, Principles of color television, John Wiley & Sons, New York 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de kleur. Verandering van de faze betekent verandering van de dominerende golflengte van de kleur.

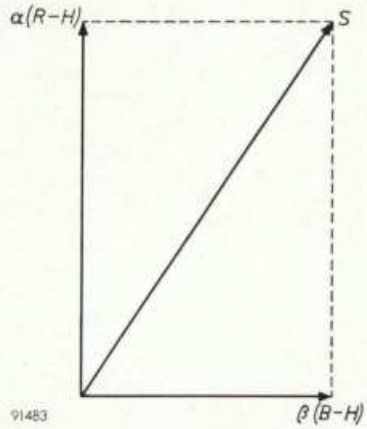


Fig. 13. Het totale kleurinformatiesignaal S volgens het N.T.S.C.-systeem; zie verg. (18).

Bij de Amerikaanse kleurentelevisie-uitzendingen past men tegenwoordig nog een kleine verfijning toe. Deze wordt hieronder beschreven.

Het videospectrum volgens (18) ziet er uit zoals in *fig. 14a* is getekend. f_a is de frequentie van de hulpdraaggolf, waarop $[S_1]$ en $[S_2]$ volgens het tweezijbandsysteem zijn gemoduleerd. Dit laatste is essentieel om door middel van synchrone detectie de twee kleursignalen van elkaar te kunnen scheiden; bij eenzijbandmodulatie zouden deze signalen namelijk volledig op elkaar overspreken. De grootste bandbreedte die men voor $[S_1]$ en $[S_2]$ kan kiezen, is bij dit systeem dus de totale videobandbreedte (5 MHz bij het Gerber-systeem) minus de hulpdraaggolffrequentie f_a.

De bedoelde verfijning nu bestaat hierin dat men één van de twee kleursignalen een grotere bandbreedte geeft, door de componenten ervan met hoge frequenties met slechts één zijband op de hulpdraaggolf te moduleren. Weliswaar spreken deze componenten dan bij demodulatie over op het andere kleursignaal, maar deze storing kan er met behulp van een laag doorlatend filter uit verwijderd worden.

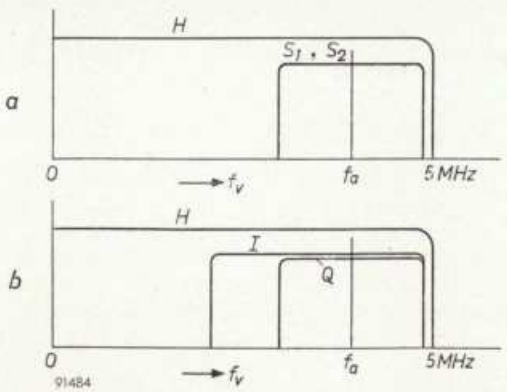


Fig. 14. *a*) Videofrequentiespectrum met gelijke bandbreedte van de twee kleursignalen, S_1 en S_2. Elk is met twee zijbanden van beperkte breedte gemoduleerd op een hulpdraaggolf met videofrequentie f_a; de twee hulpdraaggolven zijn 90° in faze ten opzichte van elkaar verschoven.
b) Videofrequentiespectrum met verschillende bandbreedte van de twee kleursignalen, I en Q (zie (19) en (20)). I kan hier een bredere benedenzijband hebben. Dit systeem wordt in Amerika toegepast.

Bij het tegenwoordige N.T.S.C.-systeem heeft men van deze mogelijkheid gebruik gemaakt. Men had voor het kleursignaal met vergrote bandbreedte $\alpha(R-H)$ of $\beta(B-H)$ kunnen kiezen, maar het is mogelijk een betere keus te doen. In de uitdrukking

$$S = S_1 \cos \omega_a t + S_2 \sin \omega_a t$$

is namelijk het rechterlid identiek gelijk aan

$$(S_1 \cos \varphi - S_2 \sin \varphi) \cos (\omega_a t + \varphi) + \\ + (S_1 \sin \varphi + S_2 \cos \varphi) \sin (\omega_a t + \varphi)$$

voor iedere waarde van de fazehoek φ. Men kan het signaal S dus ook vormen door het signaal $(S_1 \cos \varphi - S_2 \sin \varphi)$ te moduleren op de hulpdraaggolf in de faze $\cos (\omega_a t + \varphi)$, en het signaal $(S_1 \sin \varphi + S_2 \cos \varphi)$ op deze draaggolf in de faze $\sin (\omega_a t + \varphi)$, terwijl nog steeds

$$S_1 = \alpha(R-H) \text{ en } S_2 = \beta(B-H).$$

Men heeft experimenteel nagegaan, voor welke waarde van φ een vergrote bandbreedte van het op $\cos (\omega_a t + \varphi)$ te moduleren signaal het meest bijdraagt tot verbetering van het kleurenbeeld. Bij de in Amerika gekozen waarden van α en β bleek de verbetering het grootst te zijn voor $\varphi = 33°$. Met deze waarde wordt het kleurinformatiesignaal:

$$I \cos (\omega_a t + 33°) + Q \sin (\omega_a t + 33°),$$

waarin

$$I = \alpha(R-H) \cos 33° - \beta(B-H) \sin 33° \quad . \; . \quad (19)$$

dus een wat grotere bandbreedte krijgt dan

$$Q = \alpha(R-H) \sin 33° + \beta(B-H) \cos 33°. \quad . \; . \quad (20)$$

De bovenzijband wordt bovendien begrensd tot de bandbreedte van het signaal Q. Het resultaat is voorgesteld in fig. 14*b*.

Variatie in de amplitude van het signaal I heeft kleurverandering tot gevolg langs de lijn die in de kleurendriehoek oranje met blauwgroen verbindt (de lijn I in *fig. 15*). Informatie over kleurvariatie langs deze lijn is blijkbaar belangrijker dan informatie betreffende verandering langs de lijn groen-purper, welke behoort bij variatie van het signaal Q (de lijn Q in fig. 15).

Gammacorrectie

Zoals wij al hebben opgemerkt, is bij de gebruikelijke weergeefbuizen het verband tussen de lichtstroom Φ en de stuurspanning V (gemeten vanaf het afknijppunt) niet lineair. Bij benadering is dit verband een machtsfunctie:

$$\Phi = c\, V^{\gamma}, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (21)$$

waarvan de exponent γ tussen 2 en 2,5 ligt. Het is noodzakelijk hiervoor een correctie aan te brengen (de zg. gammacorrectie), daar anders ontoelaatbare fouten in de weergave zouden ontstaan. Voorzag men elke ontvanger van zulk een correctie, dan zou de prijs van de ontvangers door deze complicatie aanmerkelijk hoger worden. Daarom prefereert men het uitvoeren van de gammacorrectie in de zender, en wel door in elk van de drie kanalen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

(rood, groen en blauw), vóór het samenstellen tot luminantie- en kleursignalen, een niet-lineair element (gammacorrector) op te nemen. Geldt aan de weergeefkant voor elk van de drie grondkleuren de betrekking (21), dan moet voor de uitgangsspanning V_o en de ingangsspanning V_i van de gammacorrector gelden:

$$V_o = c' \, V_i^{1/\gamma},$$

althans indien de opneembuizen een signaal leveren dat lineair afhangt van de luminantie L_i op de fotokatode. Is dit laatste niet het geval, dan wordt de gammacorrector zo gemaakt dat het verband tussen V_o en L_i als volgt is:

$$V_o = c'' \, L_i^{1/\gamma}.$$

Doet men dit in ieder kleurkanaal, dan krijgt men, in plaats van de signalen R, G en B, de gecorrigeerde signalen

$$R' = R^{1/\gamma}, \quad G' = G^{1/\gamma}, \quad B' = B^{1/\gamma}.$$

Het nieuwe luminantiesignaal H' wordt nu (vgl. 10):

$$H' = 0{,}30 \, R' + 0{,}59 \, G' + 0{,}11 \, B',$$

en het nieuwe kleursignaal S' (bij het N.T.S.C.-systeem) wordt:

$$S' = a(R'-H') \cos \omega_a t + \beta(B'-H') \sin \omega_a t.$$

In de ontvanger worden deze signalen precies zo behandeld als boven beschreven voor de ongecorrigeerde signalen, zodat R', G' en B' de signalen zijn die de weergeefapparatuur krijgt toegevoerd.

De gammacorrectie aan de zendzijde heeft weliswaar enige nadelen, waarop wij hier niet kunnen ingaan, maar is anderzijds onmisbaar om een goede weergave te verzekeren zonder dat de ontvangtoestellen al te ingewikkeld moeten zijn.

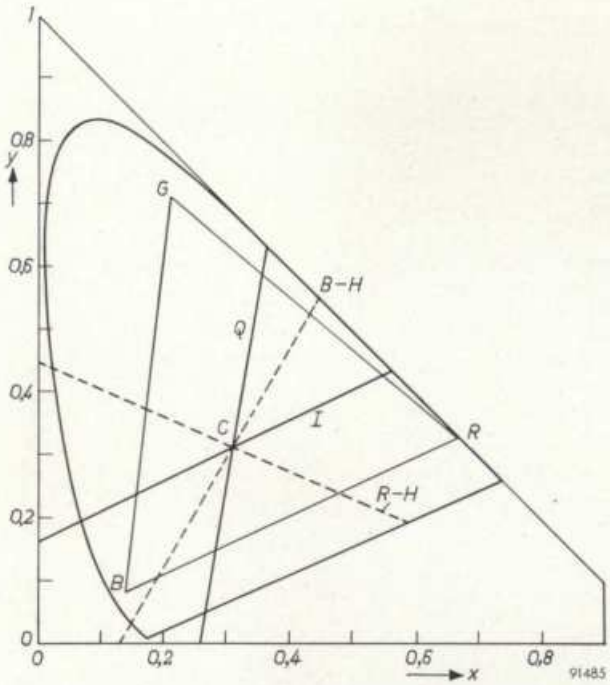


Fig. 15. Variatie van het signaal I (verg. 19) veroorzaakt kleurverandering langs de lijn I in de kleurendriehoek, variatie van het signaal Q (verg. 20) verandering langs de lijn Q. De kleurpunten van de grondkleuren zijn R, G en B. De signalen S_1 en S_2 corresponderen met de lijnen $R-H$ en $B-H$.

Samenvatting. In dit inleidende artikel over kleurentelevisie worden eerst enige colorimetrische begrippen behandeld, zoals additieve kleurmenging en de kleurendriehoek. Vervolgens wordt het principe van de kleurentelevisie uiteengezet aan de hand van een systeem met drie opneem- en drie weergeefbuizen, vooreerst nog met gescheiden transmissiekanalen voor de drie grondkleuren (rood, groen en blauw). De splitsing van het binnenkomende licht in de drie grondkleuren aan de zendzijde, en de samenvoeging van de drie (geprojecteerde) beelden aan de ontvangzijde kunnen geschieden met behulp van kleursplitsende spiegels.

Bij de transmissie is het voornaamste probleem dat van de beperking der bandbreedte. Besproken worden een systeem met twee hulpdraaggolven en het in Amerika gebruikte N.T.S.C.-systeem. Tot slot wordt ingegaan op de gammacorrectie, die nodig is wegens het niet-lineaire verband tussen lichtstroom en stuurspanning bij de weergeefbuizen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

CHLADNI-FIGUREN OP DE TRILCONDENSATOR VAN EEN SYNCHROCYCLOTRON

621.384.611.1:621.376.32

Bij een synchrocyclotron wordt de frequentie van het hoogfrequente, de deeltjes versnellende elektrische veld periodiek gevarieerd. Deze frequentiemodulatie verwezenlijkt men bij grote cyclotrons door variëren van de capaciteit in de elektrische trillingskring, gewoonlijk met behulp van een roterende condensator[1]). Bij het synchrocyclotron van het CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) te Genève, dat voor 600 miljoen elektronvolt is geconstrueerd en dat men nog dit jaar in gebruik hoopt te nemen, wordt de capaciteitsvariatie bewerkstelligd door middel van een trillende condensator. De hiervoor nodige apparatuur is door het CERN en het Philipslaboratorium te Eindhoven gezamenlijk ontwikkeld.

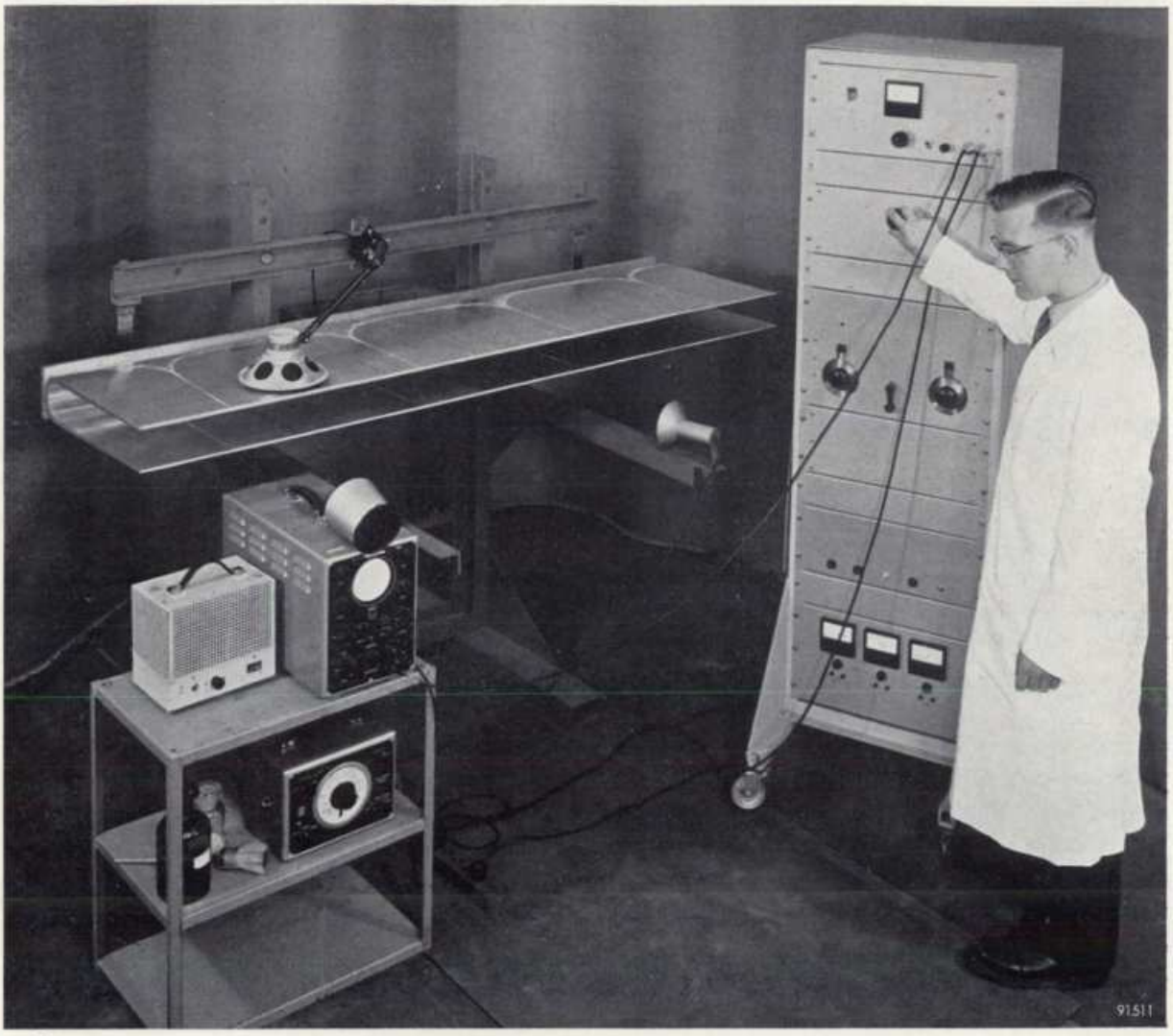


Fig. 1. Opstelling voor het onderzoek van de resonanties van de triller. De op geringe afstand boven het bovenblad van de triller geplaatste luidspreker wordt gevoed uit de rechts opgestelde toongenerator. Met de oscillograaf (links) wordt de sinusvormigheid van de voedingsspanning gecontroleerd, terwijl de beweging van de bladen van de triller nader kan worden bekeken met een stroboscoop, waarvan de lamp hier te zien is op de steunbalk rechts vóór de triller. Een op de bladen gestrooid poeder verzamelt zich, bij een bepaalde resonantietoestand van de triller, langs de knooplijnen, zodat het trillingspatroon zichtbaar wordt — op dezelfde wijze als door Chladni de „klankfiguren" van platen en van de klankbodems van muziekinstrumenten zichtbaar werden gemaakt.
Het hier zichtbare patroon trad op bij 110 Hz.

[1]) Zie b.v. F. A. Heyn, Het synchrocyclotron te Amsterdam, II. De oscillator en de modulator, Philips techn. T. **12**, 251-260, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

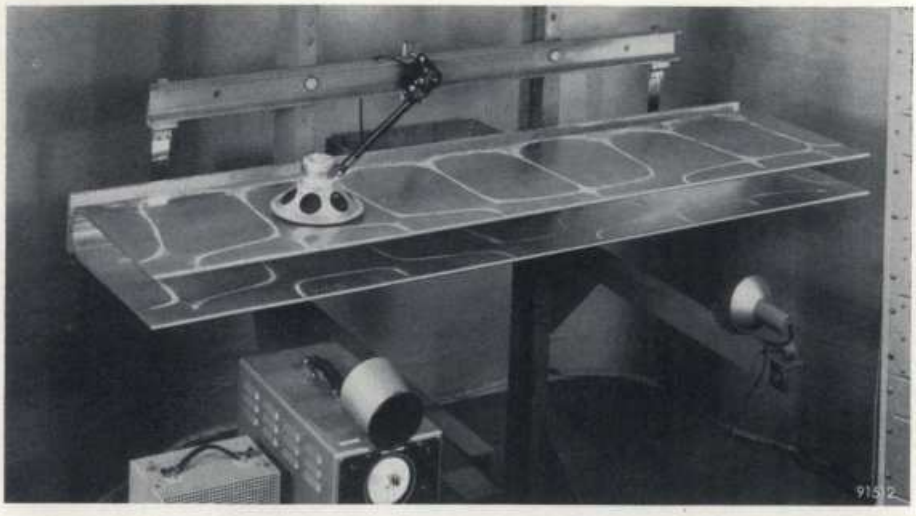


Fig. 2. Trillingspatroon bij 540 Hz.

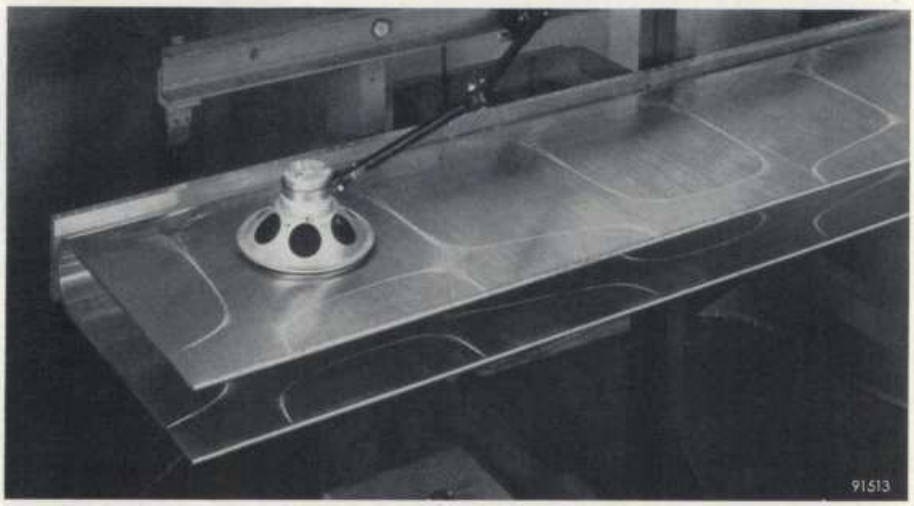


Fig. 3. Trillingspatroon bij 380 Hz.

De trilcondensator bestaat uit een 2 meter brede aluminium triller van de vorm van een stemvork, tussen welks bladen een vaste elektrode is opgesteld. De grondfrequentie van de triller is 55 Hz, de vereiste amplitude 12,5 mm. Hij wordt in trilling gebracht door het opwekken van longitudinale trillingen, met de genoemde frequentie, in de „steel" van de stemvork. Op de details van de excitatie en de voorzieningen voor de regeling van de amplitude zullen we hier niet ingaan.

Voor een juiste werking is het noodzakelijk dat de stemvork alleen in de grondtrilling trilt: in dat geval bewegen de bladen als één geheel naar elkaar toe en van elkaar af, er treden geen knooplijnen op. Om zich ervan te vergewissen of er tijdens het werken van het synchrocyclotron geen storende resonanties van de triller kunnen optreden, werd een onderzoek ingesteld naar diens boventonen, wat betreft trillingspatroon en frequentie.

Op de foto's *fig. 1-3* ziet men de gebruikte proefopstelling en enkele fraaie Chladni-figuren van de vele mogelijke (niet gewenste!) trillingspatronen van de triller. Met een naar verhouding kleine luidspreker, gevoed uit een fijn verstembare toongenerator voor 27-1800 Hz, werd de triller akoestisch in zijn verschillende resonantiefrequenties aangeslagen, waarna een poeder op de bladen werd gestrooid om de Chladni-figuren zichtbaar te maken. Een stroboscoop maakte het mogelijk de fazeverschillen in de beweging van verschillende delen van de triller na te gaan.

Uit het onderzoek bleek dat bij de nominale frequentie een ongewenste resonantie optrad met het op de foto fig. 1 zichtbare trillingspatroon: de resonantiefrequentie hiervan bedroeg toevallig vrijwel precies het dubbele van die van de grondtrilling. Door op elk blad van de stemvork, op bepaalde afstand van de voorrand, een over de gehele breedte lopende rib van bepaalde afmetingen te bevestigen, werd de genoemde resonantie naar een hogere frequentie verlegd, waar er geen last van werd ondervonden. Door de verstijving der bladen verschuiven natuurlijk ook de resonantiefrequenties van alle andere trillingsvormen van de stemvork, maar er bleken geen nieuwe storende coïncidenties tussen zulke frequenties en veelvouden van de grondfrequentie op te treden.

B. BOLLÉE.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ULTRASONE MATERIAALBEWERKING

II. TOEPASSING EN PRESTATIES VAN ULTRASONE BOORMACHINES

door E. A. NEPPIRAS *) en R. D. FOSKETT *).

534.321.9:621.95

De materiaalbewerking door ultrasone trillingen vindt steeds meer toepassing. Deel I van dit artikel bevatte een inleiding tot deze techniek en een beschrijving van enige ultrasone boormachines die in de Mullardlaboratoria te Salfords zijn ontwikkeld. Tot besluit worden in het onderhavige artikel de factoren die van invloed zijn op de boorsnelheid, de nauwkeurigheid en de gladheid van het oppervlak, enigszins in detail besproken. Het ultrasone boren wordt ook summier vergeleken met andere speciale technieken, met name die van de elektro-erosie.

De boorsnelheid

De bewerkingssnelheden die men met ultrasone heen-en-weergaande machines kan verkrijgen, hangen in de eerste plaats af van de trillingsamplitude, de frequentie en de statische kracht tussen boor en werkstuk; deze grootheden, die min of meer door de constructie van de vibrator zijn bepaald, hebben wij in deel I van dit artikel bekeken [1]). Behalve deze doen echter nog vele andere factoren hun invloed gelden: het materiaal van het gereedschap; de vorm daarvan; de doorsnede; de diepte van het gat; het materiaal van het werkstuk; en de eigenschappen van het slijpmiddel, waaronder wij rekenen de hardheid, de korrelafmetingen, de aard van de suspensievloeistof en de concentratie van de suspensie.

Wij hebben getracht de invloed van al deze variabelen te bepalen door onder uiteenlopende werkcondities boorproeven uit te voeren. De boorsnelheid (indringing in mm/min) blijkt met de statische kracht F eerst vrijwel lineair van nul af toe te nemen, een maximum te doorlopen — er is dus een optimale kracht — en dan asymptotisch weer tot nul af te nemen (*fig. 1a* en *b*). Een vergroting van de trillingsamplitude bij gegeven frequentie doet de boorsnelheden toenemen en verschuift gelijktijdig de optimale kracht naar grotere waarden (zie fig. 1*a*). Klaarblijkelijk zijn de verkregen resultaten aan op zijn minst twee afzonderlijke effecten toe te schrijven — een dempingseffect, dat bij grote krachten belangrijk wordt, gesuperponeerd op een lineaire toeneming, die bij geringe krachten overheerst. Dit wordt nog duidelijker wanneer we de krommen bekijken die betrekking hebben op boren van verschillende doorsnede (fig. 1*b*). De optimale kracht neemt met de doorsnede van de boor toe, de top wordt breder, en bij boren met zeer grote doorsnede wordt het dempingseffect binnen de grenzen waartussen de kracht werd gevarieerd,

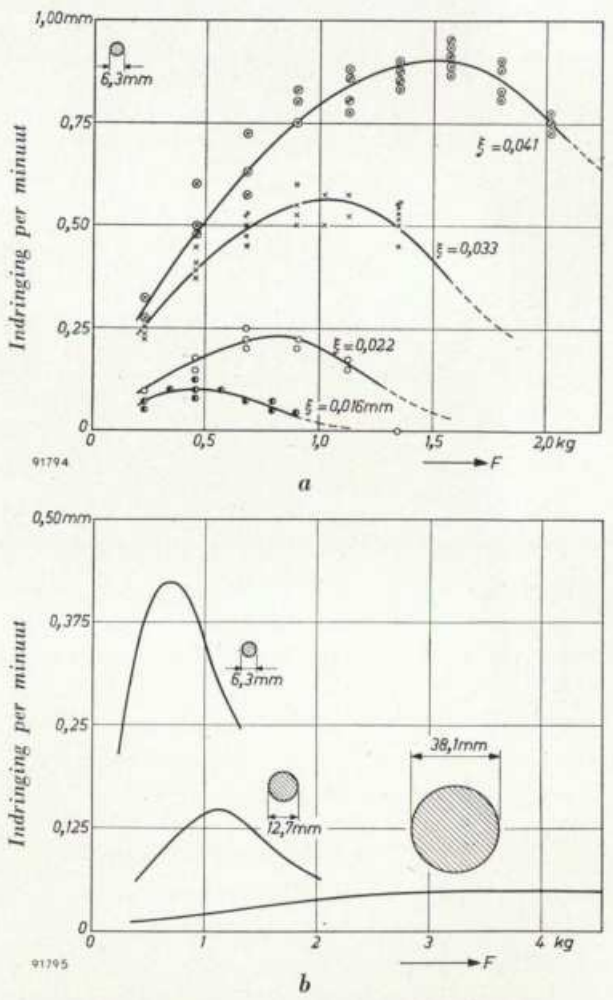


Fig. 1. *a*) Boorsnelheid (indringing per minuut) als functie van de statische kracht F bij vier verschillende waarden van de dubbele trillingsamplitude ξ.
b) Boorsnelheid als functie van F bij drie verschillende grootten van de doorsnede van de boor. De doorsneden zijn in beide figuren ingetekend.

*) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.

[1]) E. A. Neppiras en R. D. Foskett, Ultrasone materiaalbewerking, I. Werkwijze en apparatuur, Philips techn. T. **19**, 37-48, 1957 (no. 2); hieronder aangehaald als I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

onbelangrijk. Bij boren met kleine doorsnede luistert de instelling van de kracht voor een optimale werking veel nauwer. Onder overigens gelijke omstandigheden is de boorsnelheid groter naarmate de boor een kleinere doorsnede heeft, maar van een eenvoudig verband tussen boorsnelheid en oppervlakte van de doorsnede is geen sprake. Eerder kan men spreken van een correlatie tussen de boorsnelheid en de afmeting van de kortste zijde, bij een langwerpige doorsnede. Dit moet in hoofdzaak daaraan worden toegeschreven dat het voor de korrels van het slijpmiddel moeilijk is om tot het midden van een boor met grote doorsnede door te dringen. De optimale kracht schijnt ook sterk af te hangen van de concentratie van het slijpmiddel dat op het werkvlak van de boor komt.

Hoewel de hele situatie wat betreft de boorsnelheden nogal gecompliceerd is, kloppen de verschijnselen in hoofdzaak toch met wat men op grond van de eenvoudige mechanische voorwaarden van het proces zou verwachten: een vergroting van de trillingsamplitude $\frac{1}{2}\xi$ bij constante frequentie betekent een evenredige vergroting van de deeltjessnelheid $\frac{1}{2}\omega\xi$ en van de impuls die per slag aan het werkstuk wordt gegeven. Een grotere amplitude brengt ook met zich mede dat de korrels die bij het slijpproces in actie worden gebracht, over een evenredig groter gebied van korrelgrootten verdeeld mogen zijn. Men kan daarom verwachten dat de boorsnelheid meer dan evenredig met ξ zal toenemen, zoals inderdaad het geval is (*fig. 2a*). Werkt men altijd met de optimale kracht, dan is het verband vaak ongeveer kwadratisch. Grote afwijkingen van het kwadratische verband treden alleen op wanneer de kracht ver bezijden de optimale waarde is, en in gevallen waar de (dubbele) trillingsamplitude van de boor aanzienlijk verschilt van de korrelafmetingen van het slijpmiddel (zie noot [8]) in I).

Het is ook te verwachten dat de optimale waarde van de aangewende kracht met ξ zal toenemen. Bij deze voorspelling laten we de complicaties buiten beschouwing die door moeilijkheden in de doorstroming van het slijpmiddel kunnen ontstaan. Toch wordt zij door de praktijk goed bevestigd.

Geen rekening houdend met complicerende bijverschijnselen, zou men verwachten dat de boorsnelheid bij constante amplitude evenredig met het kwadraat van de werkfrequentie zou toenemen. Immers, de bij iedere slag overgedragen impuls en het aantal slagen per seconde zijn beide evenredig met de frequentie. In het frequentiegebied van 5-20 kHz echter blijkt de boorsnelheid slechts langzaam, iets minder dan lineair, met de

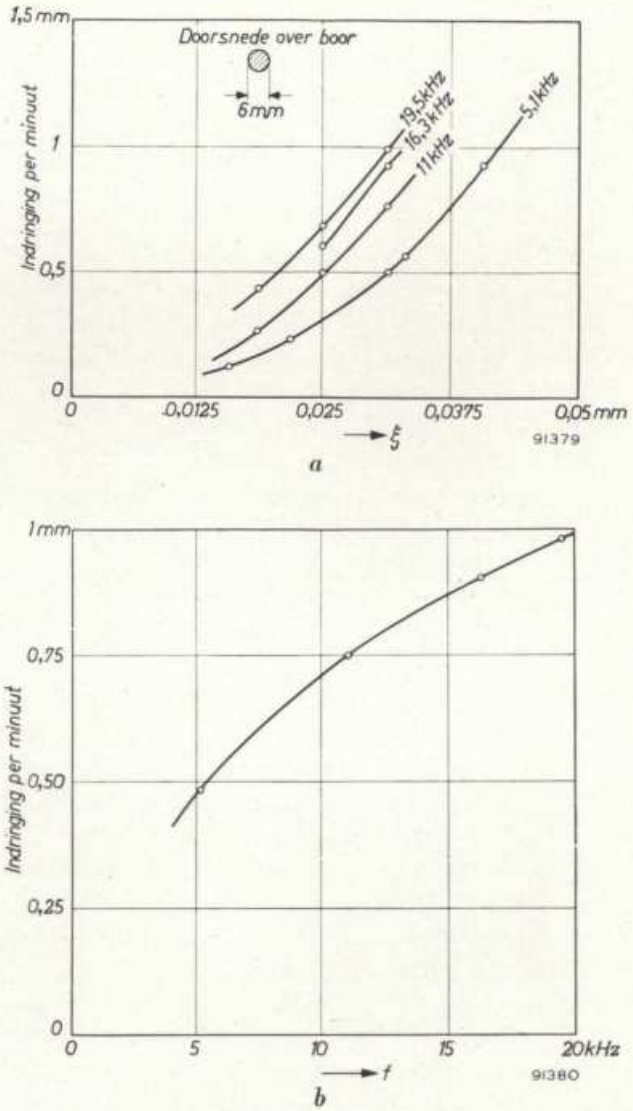


Fig. 2. Boorsnelheid in glas, *a*) als functie van de dubbele trillingsamplitude ξ van de boor, en *b*) als functie van de frequentie f bij een dubbele amplitude van 0,04 mm. De krommen zijn identiek met die van fig. 1 en 2 van deel I.

frequentie op te lopen (fig. 2*b*). Dit verloop blijkt ook onafhankelijk te zijn van de trillingsamplitude en van de korrelgrootte van het slijpmiddel. In het genoemde frequentiegebied, waarin men gewoonlijk met piëzomagnetische energieomzetters werkt, is de gevonden toeneming van de boorsnelheid dus veel kleiner dan men uit theoretische overwegingen zou verwachten. Metingen bij frequenties in de buurt van 100 Hz daarentegen, die werden uitgevoerd met andere typen trillers, hebben aangetoond dat bij deze lage frequenties nauwkeurig het kwadratische verband tussen boorsnelheid en frequentie geldt. De volledige kromme van de boorsnelheid als functie van de frequentie moet derhalve een buigpunt bezitten. Is men dit punt gepasseerd, dan neemt het totale rendement af, en er bestaat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

derhalve een theoretische optimale werkfrequentie nabij het genoemde punt. Dit wil echter niet zeggen dat het inderdaad gewenst zou zijn deze frequentie in de praktijk te kiezen, aangezien daarbij allerlei andere overwegingen meespelen.

Uit een reeks metingen van de boorsnelheid, die werden uitgevoerd met gereedschappen van verschillende gangbare metalen van uiteenlopende fysische eigenschappen, is gebleken dat de boorsnelheid niet sterk van het materiaal van het gereedschap afhangt; waarden die voor de boorsnelheid in glas en in gesinterd wolfraamcarbide werden verkregen met boren van verschillend materiaal, zijn in *tabel I* vermeld.

Bij het voorboren is het gewoonlijk gunstig een holpijp als boor te gebruiken, tenzij het om zeer kleine afmetingen en om diepe gaten gaat. Heeft men een boor van zeer ingewikkelde doorsnede, waardoor de totale wandoppervlakte van de boor die in contact komt met de vloeistof, zeer groot wordt, dan treedt aan de zijkanten van de boor een aanzienlijke viskeuze demping op, en deze neemt toe met toenemende indringingsdiepte. Bij zeer diepe gaten verdient het aanbeveling de boor telkens terug te trekken om het verwijderen van afgeslepen materiaal te bevorderen en de doorstroming van het slijpmiddel te vergemakkelijken.

De boorsnelheid neemt in het algemeen toe met toenemende korrelgrootte van het slijppoeder, maar alleen indien de dwarsafmeting van de boor in alle richtingen gemeten groot is ten opzichte van de korrelafmetingen. Enige karakteristieke krommen, die alle betrekking hebben op dezelfde boor, zijn in *fig. 3* weergegeven. Er is ook een merkbare correlatie tussen enerzijds de optimale korrelgrootte,

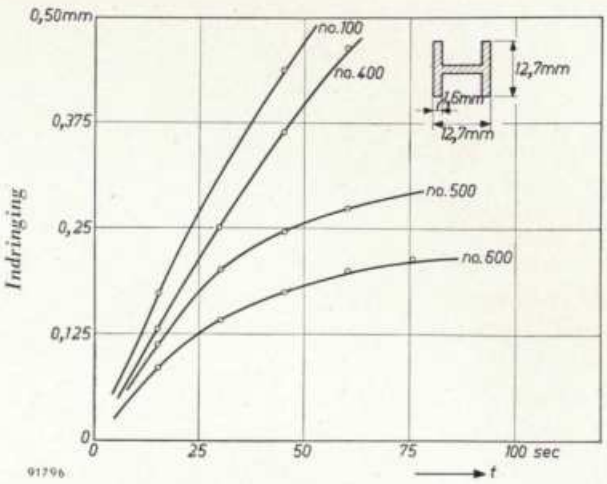


Fig. 3. Typische krommen van de indringing als functie van de tijd, bij verschillende korrelgrootten van het slijpmiddel (zie noot **) bij tabel I). De doorsnede van de boor is in de figuur ingetekend.

en anderzijds zowel de trillingsamplitude van de boor als de statische kracht. Als men grove slijpmiddelen gebruikt, schijnt het gunstig te zijn de korrelafmetingen vergelijkbaar met de dubbele trillingsamplitude te houden. Men ziet in fig. 3 ook een onmiskenbaar verband tussen de boorsnelheid en de diepte van het gat. Hierbij veranderen ook de optimale statische kracht en de optimale korrelgrootte.

De boorsnelheid is gemeten bij werkstukken van een grote verscheidenheid van materialen met zeer uiteenlopende fysische eigenschappen, waarbij diverse slijpmiddelen met zeer verschillende korrelgrootte werden toegepast. De in de *tabellen II* tot *IV* bijeengebrachte meetresultaten geven de boorsnelheid in relatieve maat, waarbij die in zacht glas

Tabel I. Verband tussen boorsnelheid en materiaal van de boor. Opgegeven is de gemiddelde boorsnelheid bij een indringing van ca. 2,5 mm. (Slijppoeder: boriumcarbide; materiaal van werkstuk: zacht glas; optimale statische kracht.)

Materiaal van de boor	Vorm van de boor	Boorsnelheid in mm/minuut			
		$\xi = 0{,}05$ mm		$\xi = 0{,}025$ mm	
		slijp-poeder no. 100**)	slijp-poeder no. 400	slijp-poeder no. 100	slijp-poeder no. 400
Koper	rond, 13 mm	1,6	0,5	0,4	0,15
Messing	,,	2,3	0,7	0,55	0,2
Zacht staal	,,	2,2	0,55	0,53	0,18
Zilverstaal *)	,,	1,9	0,55	0,5	0,2
Niet-roestend staal (18% Cr, 8% Ni, 0,1% C)	,,	1,8	0,5	0,45	0,15
Wolfraamcarbide	driehoekig, zijkant 3 mm	3,8	2,5	0,95	0,8
Zacht staal (EN2)	,,	3,7	2,55	0,9	0,73

*) Met C 0,87%, S 0,020%, P 0,025%, Mn 0,28%; in lucht getemperd na afschrikken in olie vanaf 800 °C.

**) De hier opgegeven poedernummers zijn de „mesh"-nummers van de gebruikte zeven, volgens de Britse normalisatie. Zie b.v. Handbook Chem. & Phys., Chemical Rubber Co., Cleveland 1956, 38e druk, blz. 3112-3115.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel II. Relatieve boorsnelheden in industriële keramische materialen (de boorsnelheid in zacht glas, bij gebruik van B_4C-slijppoeder no. 100, is = 100 gesteld; ronde boor van zacht staal, diameter 6,2 mm).

Materiaal van werkstuk	Slijppoeder					
	boriumcarbide		siliciumcarbide			aluminiumoxyde
	no. 100	no. 400	no. 100	no. 400	no. 600	no. 220
Chemisch porselein	70	14	53,5	11	2	25
„Temperadex"	60	10	45	7,5	—	20
„Faradex"	55	7	41	5	—	2
„Vulcanex"	190	51	168	44	2	62
Hoogspanningsporselein	45	24	41	22	—	8
„Frequentite"	47,5	27,5	45	26	—	20
Zacht glas	100	45	80	37	6	70

gelijk aan 100 is gesteld. De resultaten tonen aan dat in alle gevallen de boorsnelheid toeneemt met de hardheid van het gebruikte slijpmiddel — boriumcarbide levert altijd een grotere boorsnelheid dan siliciumcarbide, bij dezelfde korrelgrootte, en siliciumcarbide weer een grotere dan aluminiumoxyde. Dit is enigszins verrassend, want hardheid is niet de enige belangrijke fysische eigenschap. Het is duidelijk dat de vorm van de korrels van het slijpmiddel (het aantal snijkanten eraan) en hun weerstand tegen breuk eveneens van grote invloed moeten zijn. Het ligt voor de hand dat in materialen die in vergelijking met de beschouwde slijpmiddelen zacht genoeg zijn, de hardheid van het slijpmiddel geen rol meer speelt: de relatieve boorsnelheid zou dan alleen door de andere genoemde factoren worden bepaald. Was dit het geval, dan zou siliciumcarbide de grootste boorsnelheden opleveren. Is de hardheid werkelijk de doorslaggevende fysische eigenschap van het slijpmiddel, die de boorsnelheid bepaalt, dan zou het mogelijk moeten zijn uit een proefbewerking met een ultrasone machine een betrouwbare hardheidsschaal voor de slijpmiddelen af te leiden. Voor het standaardwerkstuk voor zulk een proefbewerking zou men een zacht bros materiaal moeten gebruiken. Neemt men zacht glas als een zeer bros en betrekkelijk zacht materiaal, dan leidt men voor boriumcarbide,

Tabel III. Relatieve boorsnelheden in metalen. (Boor met H-vormige doorsnede, zie fig. 3; de snelheid in zacht glas, bij gebruik van B_4C-slijppoeder no. 100, is = 100 gesteld.)

Materiaal van werkstuk	Slijppoeder						
	boriumcarbide			siliciumcarbide no. 100	aluminiumoxyde no. 220	zand (korrelgrootte 0,3 mm)	diamantpoeder (korrelgrootte 0,025 mm)
	no. 100	no. 220	no. 400				
Zacht glas	100	90	77	85	65	47	90
Messing	6,6	5,6					
Stempelstaal							
(I) K.E. 672 (R. 66)	1,4	1,3					
(II) C.S.K. (R. 62)	3,9	3,6					
(III) K.E. 672 (R. 61)	2,2	2,1		1,48	0,1	0,1	
(IV) K.E. 672 (R. 58)		1,7					
Niet-roestend staal							
(I) 18% Cr, 8% Ni, 0,1% C	2,1	1,9					
(II) 3,5% Cr, 8,4% W, 0,35% V, 0,3% C	1,2	1,1					
Kogellegerstaal (met warmtebehandeling)	1,4						
Gesinterd wolfraamcarbide (R. 76)	4,1	3,5		2,55	0,2	0,2	4,3
Wolfraam	4,8	4,3					
„Stellite"	4,0	3,7					
Germanium-eenkristal	(31)*)			(28)			
Titanium	(4,0)						
Beryllium	(7)						

*) De tussen haakjes geplaatste waarden in de tabellen III en IV berusten op schattingen (interpolatie uit metingen onder iets andere omstandigheden dan hier vermeld).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel IV. Relatieve boorsnelheden in diverse brosse materialen. (H-vormige boor, zie fig. 3; de snelheid in zacht glas bij gebruik van B_4C-slijppoeder no. 100 is = 100 gesteld.)

Materiaal van werkstuk	Slijppoeder			
	boriumcarbide			siliciumcarbide no. 100
	no. 100	no. 200	no. 400	
Zacht glas	100	90	77	85
Kwartsglas	73	66	54	
B9 borosilicaatglas	86			
Ferroxcube IIIC	37			34
Ferroxdure (ontmagnetiseerd)	(32)*)			
Kwartskristal	(57)			
Al_2O_3 (dichtgesinterd)	19			
Synthetisch saffier	19			
Synthetisch robijn	18			
Vuursteen	(72)			
Keramisch bariumtitanaat	110			109
Veldspaat	(40)			
Spinel	(48)			
Leisteen	67			
„Mycalex"	(240)			(200)

*) Zie noot bij tabel III.

siliciumcarbide en aluminiumoxyde uit de tabellen II en III hardheidscijfers af in de verhouding 100 : 80 : 72. De Knoop-hardheidswaarden voor deze slijpmiddelen zijn 2250, 2100 en 1650 (100 : 93 : 73).

Uit een beschouwing van de gegevens in de tabellen II, III en IV wordt het duidelijk dat de brosheid de belangrijkste eigenschap is die de bewerkbaarheid van een werkstuk bepaalt. (In dit kader betitelen we een materiaal als bros wanneer het mogelijk is, stukjes met afmetingen tot ca. 0,02 mm van het werkstuk te doen afspringen.) Er dient op te worden gewezen dat vele materialen die bij normale temperaturen ductiel zijn en derhalve niet gemakkelijk ultrasoon kunnen worden bewerkt, bros worden als men ze voldoende afkoelt. De ultrasone techniek bezit derhalve in feite een nog aanzienlijk groter mogelijk toepassingsgebied dan men zou concluderen uit de hier aangehaalde meetresultaten, die natuurlijk alle betrekking hebben op normale kamertemperatuur.

In de tabellen ziet men dat de boorsnelheden het grootst zijn bij glas en bij bepaalde soorten keramische materialen. De boorsnelheden in metalen, met uitzondering van germanium, zijn gewoonlijk een factor 25 tot 100 kleiner, maar zelfs in taaie, harde metalen, die niet bepaald door brosheid uitblinken, zijn de boorsnelheden gewoonlijk groot genoeg dat het lonend zou zijn de ultrasone techniek hiervoor op industriële schaal toe te passen.

Wat de toevoer van het slijpmiddel aan de boor betreft, heeft de ervaring geleerd dat voor het boren in de praktijk, speciaal bij langdurige bewerkingen, een continue circulatie het best geschikt is; men gebruikt daarbij een grote hoeveelheid suspensie en het is slechts met grote tussenpozen nodig het slijpmiddel in zijn geheel te vervangen. Men kan het slijpmiddel van buiten af op een of meer plaatsen tussen de boor en het werkstuk brengen. Bij grote doorsneden is het noodzakelijk dit op verscheidene plaatsen te doen, om een gelijkmatige circulatie van het slijpmiddel in het gat te waarborgen. In het geval van diepe gaten krijgt men bij toevoer in een sterke continue straal gewoonlijk grotere boorsnelheden dan bij toevoer van het slijpmiddel met de hand, aangezien de straal de circulatie van het slijpmiddel bevordert. Een geheel andere methode, die alle moeilijkheden bij het boren van diepe gaten elimineert, bestaat daarin, de suspensie met het slijpmiddel door de boor zelf naar het werkvlak te pompen. Dit is een zeer geschikte methode, maar ze kan natuurlijk alleen gebruikt worden waar men met holpijpen kan werken.

Voor een goede werking van de boor is de concentratie van het slijpmiddel beperkt door de eis dat het mengsel gemakkelijk onder de boor moet kunnen vloeien, en ook door de kans dat een zeer geconcentreerde suspensie spoedig uitdroogt. De optimale concentratie zal afhangen van de werkomstandigheden, van de soort slijpmiddel, de korrelgrootte en de suspensievloeistof, maar als algemene regel kan men zeggen dat een stroopachtige toestand geschikt is. Karakteristieke krommen voor het verband tussen boorsnelheid en concentratie van het slijpmiddel vindt men in *fig. 4*.

Voor de vloeistof waarin men het slijpmiddel suspendeert, schijnt een geringe viscositeit het best te zijn, vooral bij het doorboren van een werkstuk, aangezien het gesuspendeerde slijpmiddel door een nauw kanaal moet stromen en de sterkte van de cavitatie (die de uitwerking van de beweging van het slijpmiddel bepaalt) met afnemende viscositeit van de vloeistof toeneemt. Een andere voorwaarde is dat de vloeistof het materiaal van het werkstuk, van de boor en van het slijpmiddel moet bevochtigen; waarschijnlijk is ook een grote dichtheid, ongeveer even groot als die van het slijpmiddel, gunstig (nl. om dit in suspensie te houden), en voor een efficiënte koelwerking zijn een goede warmtegeleiding en een grote soortelijke warmte gewenst. Proeven die met een grote verscheidenheid van vloeistoffen als suspensiemedia voor het slijpmiddel werden verricht, hebben deze aanwijzingen in grote trekken bevestigd. Ongeveer het beste in aanmer-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

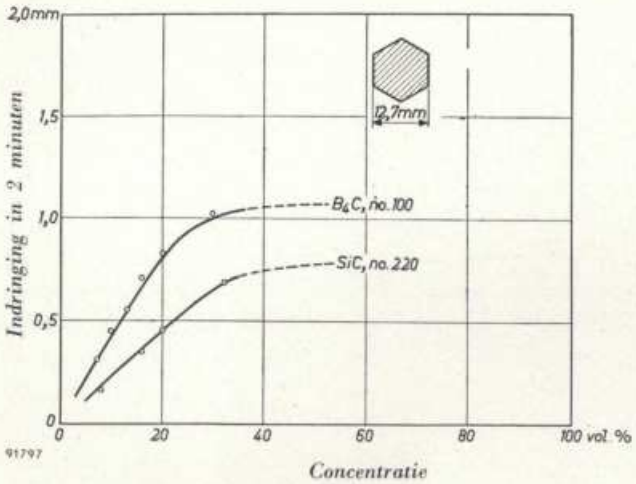


Fig. 4. Boorsnelheid in glas als functie van de concentratie van de slijpmiddelsuspensie voor twee verschillende slijppoeders. De doorsnede van de boor is in de figuur ingetekend.

king komende suspensiemedium is derhalve water, met of zonder een geringe toevoeging van een oppervlak-actieve stof; water is voor het doel veel beter dan de meeste oliesoorten, ook van dunne consistentie.

Wij hebben ook de slijtage van de boor onderzocht (zie *tabel V*), door metingen onder soortgelijke omstandigheden als in tabel I vermeld. Van de onderzochte materialen bleek zilverstaal het minst te slijten. Voor een zo gering mogelijke slijtage schijnt dus een harde taaie staalsoort het meest geschikt te zijn; of in een bepaald geval het voordeel in de slijtage opweegt tegen het nadeel dat het gereedschap van dit materiaal veel moeilijker te vervaardigen is dan van een zachtere staalsoort, is een andere kwestie. Gereedschap van koper en soortgelijke zeer zachte metalen is voor boorwerk bepaald niet geschikt, niet zozeer omdat de slijtage te groot of de boorsnelheid te klein is, maar omdat bij grote trillingsintensiteiten een plastische deformatie van het werkvlak van de boor wordt veroorzaakt (paddestoelvorming).

Tot besluit van dit hoofdstuk beschrijven we als een typisch voorbeeld het boren van een gat met een speciale doorsnede in een bros materiaal. Het gereedschap bestond uit een van cannelures voorziene holpijp van zacht staal van de in fig. 6 weergegeven vorm (zie ook de foto fig. 11 in I) met een diameter van ongeveer 1,2 cm. Hiermee werd een gat geboord in een 6 mm dikke plaat van gesinterd wolfraamcarbide. De bewerking duurde 42 minuten. Gewerkt werd met een dubbele trillingsamplitude van de boor van 0,06 mm, het slijpmiddel was een suspensie in water van boriumcarbidepoeder no. 220 (zie de noot **) bij tabel I), en de statische kracht was ingesteld op ongeveer optimale waarde, nl. 1,6 kg.

Tabel V. Slijtage van de boor. (Slijppoeder: boriumcarbide no. 100; $\xi = 0{,}05$ mm; optimale statische kracht.)

Materiaal van de boor	Vorm van de boor	Materiaal van werkstuk: glas			Materiaal van werkstuk: wolfraamcarbide		
		slijtage in lengterichting (mm)	totale indringing in het werkstuk (mm)	slijtage in % van het weggeboorde materiaal	slijtage in lengterichting (mm)	totale indringing in het werkstuk (mm)	slijtage in % van het weggeboorde materiaal
Koper	rond, 13 mm	0,06	13,2	0,48			
Zacht staal (EN2)	,,	0,45	47	1,0	2,80	3,2	88
Zilverstaal *)	,,	0,06	13,9	0,46	0,31	1,17	26
Niet-roestend staal (18% Cr, 8% Ni, 0,1% C)	,,	0,20	29,2	0,7	0,41	1,14	35
Messing	,,	0,53	31,7	1,68	4,5	3,17	140
Gesinterd wolfraamcarbide	driehoekig, zijkant 3,2 mm	0,04	38,3	0,1	3,5	3,17	110
		gereedschapsstaal			wolfraamcarbide		
Zacht staal	ronde holpijp, inw. diam. 3,2 mm uitw. ,, 6,4 mm				4,0	3,17	125
Zacht staal	H-vormig, zie fig. 3	1,35	61	2,2			
Zacht staal	ronde holpijp, inw. diam. 8,4 mm uitw. ,, 9,9 mm				4,3	1,90	222
Messing	T-vormig spuitmondstuk, hoogte van T 16 mm				6,5 (gemidd.)	3,17	205

*) Met C 0,87%, S 0,020%, P 0,025%, Mn 0,28%; in lucht getemperd na afschrikken in olie vanaf 800 °C.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De beschreven onderzoekingen over de bewerkingssnelheid hadden betrekking op boorwerk. Voor het leppen en ruimen, waarbij het afnemen van materiaal in hoofdzaak door wrijvingskrachten geschiedt, is de situatie veel eenvoudiger. Hierbij treden geen moeilijkheden met de doorstroming van het slijpmiddel op, en er doen zich geen complicaties voor wat betreft het verband tussen de korrelgrootte van het slijpmiddel en de grootte van het gereedschap, de trillingsamplitude en de indringingsdiepte. De ervaring heeft ook geleerd dat bij dit soort bewerkingen geen optimale, door de andere variabelen bepaalde, waarde van de statische kracht optreedt. Wanneer het afnemen van materiaal inderdaad in hoofdzaak door wrijvingskrachten plaatsvindt, nemen de snijsnelheden continu met de aangewende kracht toe, tot men een punt bereikt waar het gereedschap de neiging heeft om in het gat te blijven steken en het toestromen van slijpmiddel wordt belet. Bij al dergelijke bewerkingen is het daarom van belang het gereedschap nu en dan terug te trekken om het slijpmiddel beter tussen gereedschap en werkstuk te laten doordringen. Doet men dit niet, dan kan de maximale toelaatbare kracht bij diepe gaten zeer klein worden, of men moet zorgen dat de trillingsamplitude veel groter is dan de korrelgrootte van het slijpmiddel.

Een belangrijk voordeel van de bewerking met ultrasone trillingen is, dat onder normale omstandigheden geen mechanische spanningen in het werkstuk achterblijven. Dit blijkt uit het feit dat zelfs bij de broste en het lichtst breekbare materialen de stukjes die bij de bewerking worden verwijderd, klein zijn ten opzichte van de afmetingen van de slijpmiddelkorrels; hieruit volgt namelijk dat de spanningen die in het werkstuk worden opgewekt, zeer sterk gelokaliseerd zijn, zelfs al is de deeltjesversnelling van het gereedschap in het algemeen zeer groot. (Heeft men b.v. een frequentie van 16 kHz en een dubbele trillingsamplitude $\xi = 0{,}05$ mm, dan is de versnelling $\omega^2\xi/2 = 25\,000\ g$.)

Nauwkeurigheid

Aangezien de korrels van het slijpmiddel noodzakelijk de kanten van het gereedschap moeten passeren om hieronder te komen, is het ontstaande gat iets groter dan het gereedschap; het verschil is het grootst bij de ingang en wordt naar de uitgang van een doorlopend gat toe geleidelijk kleiner. Wil men met nauwe toleranties werken, dan moet men van te voren weten welke maatverschillen te verwachten zijn.

Wij hebben bij ongeveer optimale boorkracht gemeten hoe het maatverschil varieert met de diepte van het gat en de korrelgrootte van het slijpmiddel; de uitkomsten ziet men in *fig. 5a* en *b*. Het verschil in straal van boor en gat is aanvankelijk steeds iets groter dan de dimensies van de kleinste korrels in het slijpmiddel. Met toenemende diepte van het gat neemt het maatverschil aan de ingang snel toe, tot een waarde die tamelijk goed beantwoordt aan de dimensies van de grootste korrels. Hierna neemt het maatverschil als functie zowel van de indringing als van de boortijd nog slechts betrekkelijk langzaam toe, en wel in verhouding sneller voor kleinere korrelafmetingen. Bij wolfraamcarbide vindt men een iets groter maatverschil dan bij glas, bij dezelfde indringingsdiepte, hetgeen betekent dat in het eerstgenoemde materiaal de verhouding tussen de materiaalafneming in zijdelingse en die in axiale richting het grootst is.

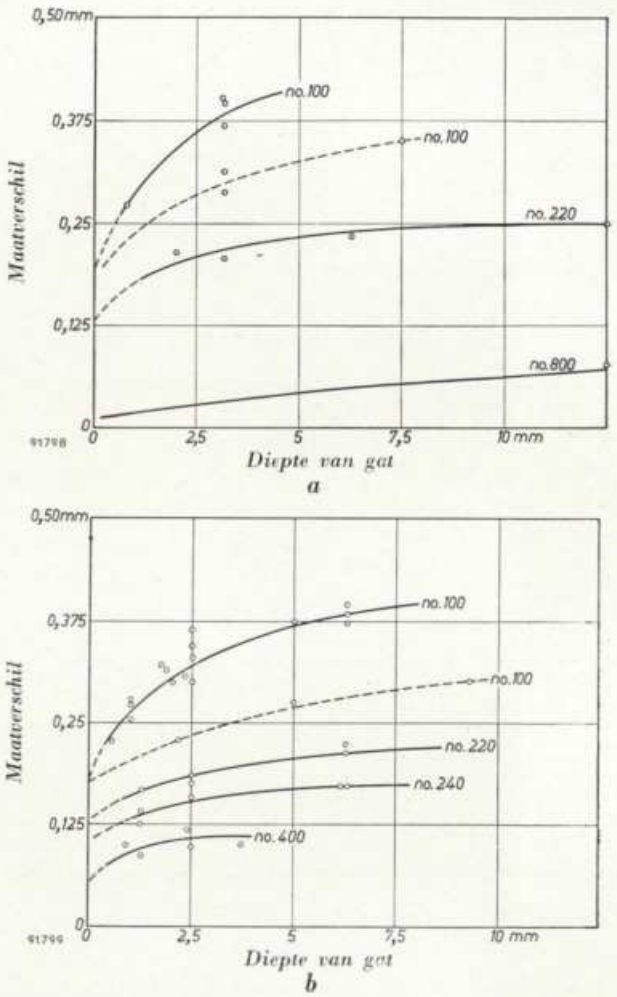


Fig. 5. Maatverschil (in de diameter) als functie van de diepte van het gat bij verschillende korrelgrootten van het slijppoeder: *a*) in wolfraamcarbide, *b*) in glas. Het slijppoeder bestond in beide gevallen uit boriumcarbide. De gestippelde krommen slaan op gaten geboord met holpijpen.

Bij blinde gaten vindt men altijd een zodanige tapsheid naar de bodem toe dat het maatverschil in de straal van boor en gat aan de bodem

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

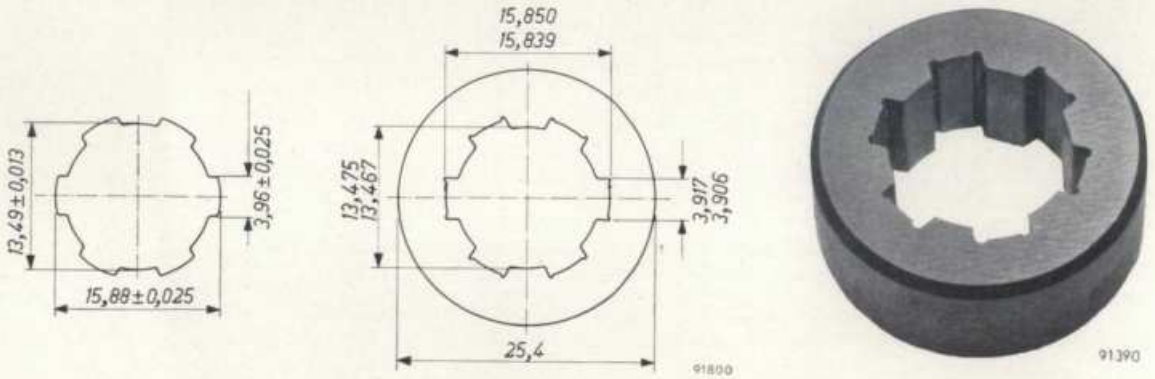
slechts van de orde van de kleinste in de suspensie aanwezige korrels van het slijpmiddel is. Dit wijst erop dat bij het boren waarschijnlijk slechts weinige van de grotere korrels ooit het werkvlak onder de boor bereiken.

Tot het maatverschil tussen boor en gat dragen behalve het slijpmiddel ook nog andere factoren bij, die verband houden met de precisie van de mechanische opstelling: 1) de nauwkeurigheid waarmee de hartlijnen van de boor, de mechanische transformator en het piëzomagnetische trillichaam in elkaars verlengde vallen; 2) de nauwkeurigheid waarmee het glijmechanisme voor het op en neer bewegen van boor of werkstuk deze beweging tot de richting van de genoemde hartlijn beperkt; en 3) de nauwkeurigheid waarmee de boor loodrecht op het werkvlak staat. Fouten wat betreft de punten (1) en (3) zullen tot gevolg hebben dat de boor in schuine richting een werkstuk binnentreedt, zodat het door een boor met cirkelvormige doorsnede geboorde gat meer of minder ovaal zal worden, in een mate die van de indringingsdiepte afhangt.

Aangezien het boren zeer veel vlugger gaat naarmate men een grover slijpmiddel gebruikt, terwijl een behoorlijke gladheid van het oppervlak en nauwe toleranties beide juist gebaat zijn met een fijnkorrelig slijpmiddel, moet men voor het boren van gaten met zeer nauwkeurig voorgeschreven afmetingen de bewerking in verschillende stappen uitvoeren. Men boort eerst een gat met een gereedschap dat iets te klein is. De vereiste afmetingen kan men ongeveer bepalen uit de voorgeschreven diepte van het gat en de korrelgrootte van het te gebruiken slijpmiddel. Daarna wordt het gat geruimd met een tweede gereedschap, welks afmetingen slechts zeer weinig kleiner zijn dan de gewenste afmetingen van het gat, en met een zeer fijnkorrelig slijpmiddel; de nadere keuze van de korrelgrootte hangt af van de gewenste gladheid van het oppervlak. Het ruimen zal snel in zijn werk gaan, aangezien men bij juiste uitvoering van het voorboren slechts een geringe hoeveelheid materiaal behoeft te verwijderen. Is een zeer grote nauwkeurigheid vereist of wil men zeer diepe gaten met redelijke tolerantie boren, dan kan men het boren in drie stappen uitvoeren, waarbij de laatste geschiedt met een gereedschap dat binnen de toleranties valt, en met een polijstmiddel, b.v. een poeder no. 2000.

De nauwkeurigheid van de afmetingen die men bij bewerking in een enkele trap kan bereiken, is zodanig dat men zelfs bij het gebruik van een grof slijpmiddel (no. 220) de afmetingen van het gat tot op $\pm 0{,}05$ mm kan voorspellen, mits men een gereedschap gebruikt dat aanzienlijk langer is dan de diepte van het gat. (Het gereedschap kan dan na het doorboren nog lager zakken en door leppen onnauwkeurigheden die door slijtage van het gereedschap zijn ontstaan, verwijderen.) Deze nauwkeurigheid zal voor vele toepassingen voldoende zijn. Bij het boren in twee stappen kan men in glas en in wolfraamcarbide, bij het gebruik van een poeder no. 800 voor het ruimen, een nauwkeurigheid binnen $\pm 0{,}013$ mm bereiken.

Ter illustratie van de nauwkeurigheid die met de ultrasone bewerkingsmethode kan worden bereikt op het belangrijke toepassingsgebied van het maken van matrijzen, zullen we twee typische voorbeelden beschrijven. Het eerste voorbeeld betreft een kaliber van wolfraamcarbide, dat bestemd was voor het controleren van gecanneleerde assen. De dwarsdoorsneden van de as en het kaliber zijn in *fig. 6a* en *b* afgebeeld; een foto van het kaliber ziet men in fig. 6*c*. De bewerking werd in drie trappen uitgevoerd. Eerst werd in de plaat een cirkelrond gat geboord met behulp van een holpijp en een boriumcarbidepoeder met voor de voorbewerking geschikte



a *b* *c*

Fig. 6. *a*) Dwarsdoorsnede van een gecanneleerde as.
b) Afmetingen van het bijbehorende wolfraamcarbide kaliber.
c) Foto van het afgewerkte kaliber.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

korrelgrootte. De diameter van het op deze wijze verkregen gat was ongeveer 0,4 mm kleiner dan de vereiste bodemdiameter van 13,25 mm van het voltooide kaliber. Voor een tweede voorbewerking werd dan een massieve boor met cannelures gebruikt, die reeds de vorm van het vereiste afgewerkte gat had, doch 0,13 mm in diameter te klein was. Het nu verkregen gat was in diameter ongeveer 0,04 mm te klein vergeleken bij de vereiste afmeting. Hierna kon het werkstuk aan de laatste bewerking worden onderworpen, waarvoor ten slotte een boor met diameter 0,013 mm kleiner dan het vereiste gat werd gebruikt, in combinatie met een zeer fijn boriumcarbidepoeder.

Als tweede voorbeeld beschrijven wij het maken van een matrijs voor de anode van een elektronenbuis, zoals afgebeeld in *fig. 7a* en *b*. De matrijs werd uit een 3 mm dikke wolfraamcarbide plaat vervaardigd. In dit geval werd een ruwe voorbewerking toegepast, gevolgd door een fijne afwerking in twee trappen. De gebruikte gereedschappen werden achtereenvolgens 0,25, 0,1 en 0,025 mm in alle inwendige afmetingen te klein gemaakt; zij werden door hard solderen op cilindrische $\lambda/2$-transformatoren van messing bevestigd. Van de geringe tapsheid, die normaal bij het boren wordt verkregen, werd profijt getrokken door het werkstuk zo te monteren dat de zijde die op de werktafel kwam te liggen, later de bovenkant van de matrijs moest worden. Bij de laatste bewerking, met het grootste gereedschap en met een slijpmiddel no. 800, werd de matrijs zeer nauwkeurig op maat gelept, zodanig dat het juist mogelijk was de stempel met de hand erdoorheen te drukken. De resulterende speling tussen stempel en matrijs was zeer klein, ongeveer 0,008 mm. Doorsneden van de wand van de matrijs, die na iedere ultrasone bewerking werden vervaardigd, zijn in fig. 7*c* afgebeeld. Zij tonen duidelijk de nauwkeurigheid in de afmetingen die bij de bewerking werd verkregen.

Samenvattend kunnen wij zeggen dat de nauwkeurigheid in de afmetingen slechts van de twee hierboven vermelde factoren afhangt — de korrelgrootte van het slijpmiddel en de mechanische nauwkeurigheid van de opstelling; ze is niet begrensd door enige fundamentele beperking van de techniek zelf. Wat betreft de precisie van de opstelling zijn de twee hoofdproblemen 1) ervoor te zorgen dat het boorgereedschap met zijn as evenwijdig staat aan de lijn waarlangs de boorkop of het werkstuk beweegt; 2) de boor bij een latere bewerkingstrap nauwkeurig in één lijn te brengen met de reeds door een voorbewerking geproduceerde opening. Beide problemen, die nauw met elkaar samenhangen, worden nog onderzocht.

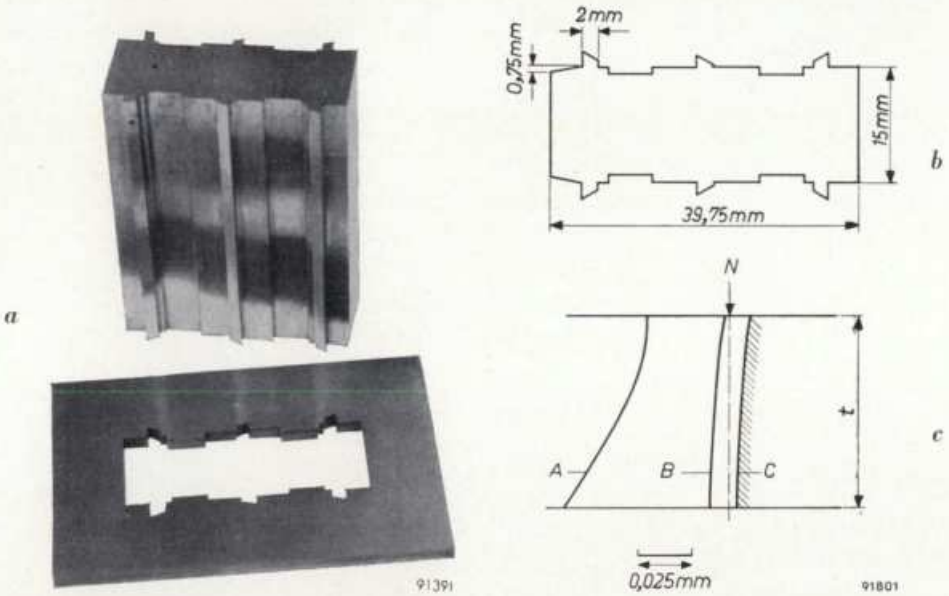


Fig. 7. *a*) en *b*) Foto en doorsnede van een wolfraamcarbide matrijs voor anodes. *c*) Oppervlak aan de zijkant van de matrijs: *A* na de voorbewerking, *B* na de tweede trap van bewerking, en *C* na de laatste ultrasone bewerking. *N* geeft de nominale afmetingen. De dikte *t* van de matrijs is op veel kleinere schaal getekend dan de horizontale afstanden.

Ook voor het maken van cirkelvormige vormstukken (b.v. trekstenen) wint de vibratietechniek het in snelheid verreweg van conventionele bewerkingsmethodes. Bij zulke objecten kan zowel de boorsnelheid als de cirkelrondheid van de opening van het vormstuk verbeterd worden door het vormstuk tijdens het boren met een geringe constante

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

snelheid te doen roteren. Een roterende werkstukhouder die gebruikt wordt voor het maken van wolfraamcarbide trekstenen voor draad, is schematisch in *fig. 8* weergegeven. De te boren treksteen wordt midden in een tapse metalen bus geplaatst,

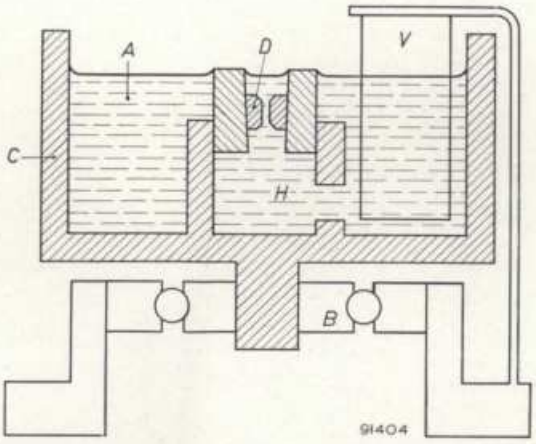


Fig. 8. Opstelling voor het ultrasoon boren van wolfraamcarbide trekstenen voor het trekken van draad. *A* suspensie van slijpmiddel, *B* kogelleger, *C* roterend vat, *D* wolfraamcarbide schijf, *V* schoep voor het door elkaar roeren van het slijpmiddel, *H* gaten in de houder van de treksteen waardoor het slijpmiddel kan circuleren.

die in een vat is opgesteld dat de suspensie van het slijpmiddel bevat. De drager voor de bus heeft gaten in de voet, om een continue doorstroming van het slijpmiddel door het gat van de treksteen mogelijk te maken. Men laat de boor met een geschikte statische kracht op de treksteen rusten en laat het hele vat langzaam roteren (ongeveer eens in de 5 seconden). De circulatie van het slijpmiddel bewerkstelligt men met de hand of met behulp van een vast opgestelde schoep die in de suspensie gedompeld is.

Gladheid van het oppervlak

Bij voorbewerkte en geruimde gaten in glas en in wolfraamcarbide hebben wij de hoedanigheid van het verkregen oppervlak op de bodem en op de wanden van het gat onderzocht. Hiertoe werden metingen uitgevoerd met behulp van een Talysurf ruwheidsmeter, die het verloop van de oneffenheden van het afgetaste oppervlak registreert en een gemiddelde waarde van de hoogte der oneffenheden (aritmetisch gemiddeld over telkens 7,5 mm) optekent. Uit alle meetresultaten kunnen de volgende algemene conclusies worden getrokken.

De gladheid van het verkregen oppervlak hangt ten sterkste af van de korrelgrootte van het slijppoeder. Dit is duidelijk te zien in de vier registratiekrommen van *fig. 9*, die betrekking hebben op de bodem van blinde gaten die onder ongeveer optimale condities werden geboord met resp. boriumcarbidepoeders no. 100, 400, 600 en 800. Voor de grofste slijpmiddelen bedragen de onregelmatigheden, van top tot dal gemeten, soms niet minder dan 0,025 mm; voor de fijnste poeders bedragen zij nooit meer dan 0,0025 mm. Interessant is kromme *d*, daar hierin een kleine door een cavitatiekanaal veroorzaakte kras zichtbaar wordt. Zulke krassen worden op de bodem van blinde gaten slechts zelden aangetroffen.

De gladheid van het oppervlak blijkt in het geheel niet af te hangen van de bij het boren uitgeoefende statische kracht. Dit is een nogal verrassend resultaat; men zou verwachten dat de hoogte van de oneffenheden ongeveer lineair met de aangewende kracht zou toenemen, evenals met de boorsnelheid het geval is. De verklaring van de paradox is deze, dat de verwachte toeneming wordt gecompenseerd door een verschijnsel dat met de stroming van het slijpmiddel samenhangt: hoe groter de kracht, des te kleiner zijn de grootste slijppoederkorrels die het werkvlak onder de boor kunnen bereiken. Hiermee strookt ook dat bij het gebruik van grove poeders de ruwheid op de wanden van een blind gat groter is dan op de bodem.

De ruwheid hangt een weinig af van de trillingsamplitude van de boor: bij boren onder optimale condities neemt de ruwheid langzaam met de amplitude toe.

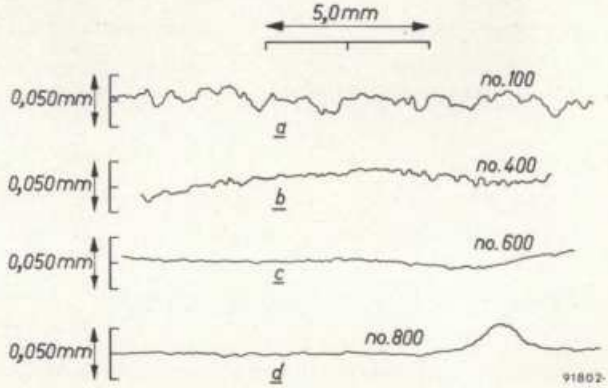


Fig. 9. Registratiekrommen van het oppervlak op de bodem van blinde gaten in glas, geboord met boriumcarbide slijppoeders. (Verkregen met de Talysurf ruwheidsmeter; let op het verschil in verticale en horizontale schaal.)

De registratiekrommen van *fig. 10* hebben betrekking op wolfraamcarbide. De krommen *a* en *b* zijn verkregen op de bodem van blinde gaten, geboord met boriumcarbide no. 100 (dubbele amplitude 0,05 mm bij ongeveer optimale bewerkingscondities). Het gat *a* was zeer ondiep, de boor was hierbij slechts ongeveer 0,13 mm ingedrongen. De oneffenheden van het oppervlak zijn hier groter dan in kromme *b*, die slaat op een gat van 2,5 mm diepte. Dit wijst erop dat in het geval waar de circulatie van het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

slijpmiddel berust op de beweging van cavitatieslierten (d.w.z. wanneer de diepte van het gat veel groter is dan de speling tussen boor en werkstuk, dus ook veel groter dan de korrelgrootte van het slijppoeder), de grootste korrels nooit op het werkvlak van de boor komen. De langgolvige modulatie gelijkmatig glad van oppervlak. Zij bevatten dan ruwere gedeelten, waarin op het oppervlak van het materiaal krassen optreden die veroorzaakt zijn door de werking van cavitatieslierten, welke korrels van het slijppoeder langs bepaalde banen tussen het gereedschap en het werkstuk hebben

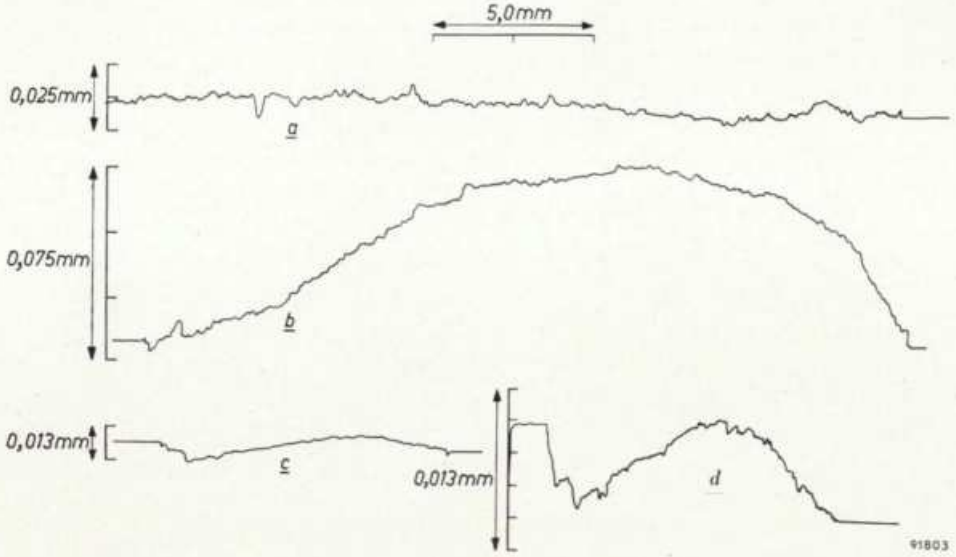


Fig. 10. Registratiekrommen van het oppervlak van blinde gaten in wolfraamcarbide, geboord met boriumcarbide slijpmiddelen.
a) Bodem van een zeer ondiep gat, indringing van de boor 0,13 mm; slijppoeder no. 100. *b*) Bodem van een gat van 2,5 mm diepte; slijppoeder no. 100. *c*) Zijwand van geruimd gat; slijppoeder no. 800. *d*) Als (*c*) maar op 5× zo grote schaal.

van de kromme *b* duidt op een rimpeligheid van het oppervlak die veroorzaakt is door onregelmatig afslijten van de boor. Kromme *c* heeft betrekking op de wand van een geruimd gat in een wolfraamcarbide plaat waarbij boriumcarbide poeder no. 800 werd gebruikt.

In *fig. 11* is de gemeten hoogte der oneffenheden van het oppervlak voor glas en voor wolfraamcarbide uitgezet als functie van de korrelgrootte van het slijppoeder. Bij het boren krijgt men op de wanden van een gat ongeveer dezelfde ruwheid als op de bodem, behalve wanneer een zeer grof slijpmiddel wordt gebruikt. Bij het ruimen krijgt men een oppervlaktegladheid die nagenoeg alleen van de korrelgrootte van het slijpmiddel afhangt en niet van de trillingsamplitude en de statische kracht. Onder dezelfde bewerkingscondities staat de verkregen ruwheid bij glas tot die bij wolfraamcarbide (op de bodem van blinde gaten) ongeveer als 7 tot 1, hoewel de overeenkomstige boorsnelheden tot elkaar staan als 24 : 1. De registratiekrommen van de ruwheid tonen duidelijk aan dat de verwijdering van het materiaal zowel bij glas als bij carbide in hoofdzaak plaatsvindt door het afspringen van minieme stukjes (verpulveren).

De wanden van gaten zijn soms volstrekt niet gesleurd. Over deze krassen is reeds in deel I van dit artikel gesproken (zie ook de hierboven gereproduceerde registratie fig. 9*d*). De aard van de krassen wordt verduidelijkt door de microfoto *fig. 12*. De breedte en diepte van de krassen schijnen samen te hangen zowel met de korrelgrootte van het slijp-

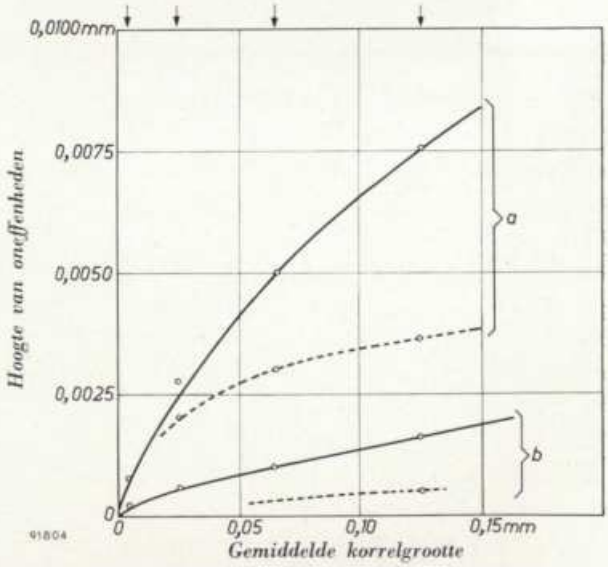


Fig. 11. De oneffenheid van het oppervlak als functie van de korrelgrootte van het slijppoeder, bij gaten *a*) in glas en *b*) in wolfraamcarbide. De getrokken krommen slaan op de zijwanden, de gestippelde op de bodem der gaten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

middel als met de breedte van de cavitatieslierten zelf. Bij een grof slijppoeder is de diepte der krassen van de orde van de korrelafmetingen, en hoewel zij bij fijnere slijppoeders ondieper worden, zijn ze toch zelden veel minder dan een tiende mm breed en diep. In I werd reeds vermeld dat men het ontstaan

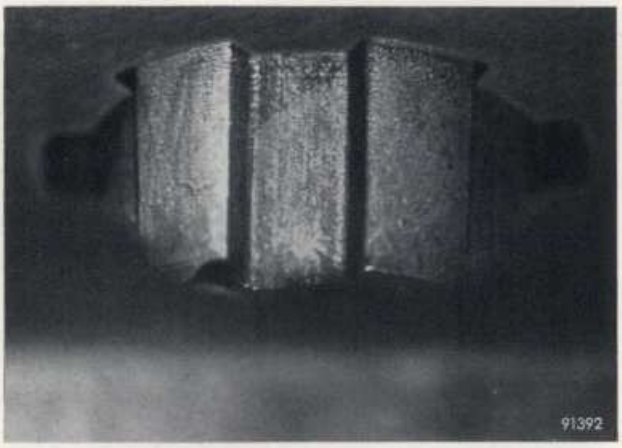


Fig. 12. Microfoto van het oppervlak van een boring in wolfraamcarbide, waarop cavitatiekrassen te zien zijn.

van deze krassen kan voorkomen door de bewerking snel genoeg uit te voeren: de cavitatieslierten kunnen dan geen stabiel patroon gaan vormen, en de aan deze slierten toe te schrijven afneming van materiaal wordt derhalve gelijkmatig over het oppervlak verdeeld.

Vergelijking met andere technieken

De ultrasone machines hebben nieuwe bewerkingsmethodes mogelijk gemaakt. Men kan hiermee karweien uitvoeren waaraan men zich vroeger nooit durfde wagen, omdat ze zo buitengewoon moeilijk of tijdrovend waren. Voor sommige mogelijke toepassingen echter, met name op het belangrijke gebied van het maken van matrijzen, treden andere technieken als mededingers van de ultrasone methode op. Tot die andere moderne bewerkingsmethodes, die efficiënter zijn dan het klassieke sinteren gevolgd door het leppen met de hand en die voor de nauwkeurige bewerking van ingewikkeld gevormde werkstukken van geharde staalsoorten en carbides kunnen worden toegepast, behoren de verschillende technieken van bewerking door elektrolyse en elektro-erosie.

Laten we voor een vergelijking met deze technieken de eigenschappen van de ultrasone bewerkingstechniek nog eens samenvatten. Men heeft hierbij grote boorsnelheden en men verkrijgt relatief gemakkelijk een goede nauwkeurigheid en een uitstekend glad oppervlak. In het werkstuk wordt geen warmte opgewekt, zodat er ook geen veranderingen in de fysische structuur van het materiaal worden veroorzaakt. Het hanteren van de machines is volkomen gevaarloos, en geschoolde arbeid komt alleen bij het maken en instellen van de eigenlijke gereedschappen te pas; de gereedschappen kunnen echter goedkoop van een betrekkelijk zacht metaal worden gemaakt. Men werkt met goedkope slijpmiddelen; het dure diamantboort heeft men alleen nodig bij het boren van diamant zelf. Belangrijk is ook dat de techniek toegepast kan worden op alle brosse materialen en de toepassing niet door enige andere fysische eigenschap van het materiaal wordt beperkt. Een zeer grote hardheid van een materiaal vormt geen belemmering om dit te bewerken, mits men slechts een slijpmiddel kiest dat op zijn minst even hard is.

Wanneer het erom gaat in brosse materialen gaten en indrukkingen van onregelmatige doorsnede te maken, reliëfpatronen aan te brengen of een groot aantal sneden gelijktijdig uit te voeren, kunnen we wel zeggen dat de vibratietechniek vrijwel geen mededinger heeft voorzover het elektrisch niet-geleidende materialen betreft. Bij de toepassing op geleidende materialen daarentegen komen de nieuwe procédés van elektro-erosie wel degelijk in aanmerking. De belangrijkste mededinger van de ultrasone bewerkingsmethode is hierbij het vonkerosieprocédé [2]), dat commercieel tot ontwikkeling is gebracht in een aantal landen, waaronder Amerika, Engeland, Zwitserland, Tsjecho-Slowakije en Rusland. In wezen berust de methode erop, in het oppervlak van het werkstuk plaatselijk zeer grote momentele spanningsconcentraties op te wekken door een reeks vonkontladingen tussen het gereedschap en het werkstuk, welke tussenruimte met een niet-geleidende vloeistof wordt gevuld. Bij dit proces ontstaan komvormige verdiepingen in het oppervlak van het werkstuk, die groter zijn naarmate de energie van de vonk groter is, zodat het oppervlak minder glad wordt naarmate men met grotere boorsnelheid werkt. Hoewel met deze methode buitengewoon grote boorsnelheden zijn te verkrijgen, groter dan tegenwoordig met de vibratietechniek mogelijk is, kan men er niet snel een goede oppervlakhoedanigheid mee bereiken. Het schijnt dat het voor het verkrijgen van een ook maar matig goede oppervlakhoedanigheid noodzakelijk is de bewerking in verscheidene stappen uit te voeren, waarvan de laatste uiterst tijdrovend kan zijn. Bij de ultrasone methode heeft men deze beperking niet,

[2]) Zie b.v. I. Koncz, Electric spark machining, Gépész (Hongarije) **1**, 388-411, sept.-okt., 1949 (verkorte Engelse vertaling in Engrs. Digest (Londen) **11**, 108-111 en 165-168, 1950); ook D. W. Rudorff en H. Drubba, Research (Londen) **7**, 216-220, 1954.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

daar hierbij zelfs bij een voorbewerking al een redelijk glad oppervlak wordt verkregen. Men heeft daarom wel voorgesteld, beide technieken met elkaar te combineren: een voorbewerking door vonkerosie is zeer geschikt wanneer een aanzienlijke hoeveelheid materiaal moet worden verwijderd, en voor de fijne afwerking kan men dan de ultrasone techniek toepassen. Enige proeven in deze richting hebben reeds bemoedigende resultaten opgeleverd.

Beide nieuwe bewerkingsmethodes staan nog in hun kinderschoenen, en een apodictisch oordeel over hun relatieve merites is derhalve niet op zijn plaats. Voor de toepassing op geleidende materialen menen wij dat de methodes eerder elkaar in hoge mate aanvullen dan met elkaar concurreren. Wat betreft de toepassing op niet-geleiders echter mag men wel zeggen dat geen enkele bewerkingsmethode als serieuze mededinger van de ultrasone kan worden beschouwd.

Samenvatting. In dit tweede artikel over de ultrasone bewerkingsmethode worden de boorsnelheid, de nauwkeurigheid en de gladheid van het oppervlak nader beschouwd. De invloed van verschillende factoren op de boorsnelheid wordt aan de hand van grafieken en tabellen besproken. De boorsnelheid neemt vrijwel lineair toe met de statische kracht tussen boor en werkstuk, tot een optimale waarde, die nog van de trillingsamplitude en de frequentie afhangt. Bij boren van kleine doorsnede luistert de instelling op de optimale kracht vrij nauw. De boorsnelheid neemt iets sterker dan evenredig toe met de amplitude en iets minder dan evenredig met de frequentie (bij ultrasone frequenties en in het praktisch in aanmerking komende amplitudegebied). Verder is de boorsnelheid groter naarmate men met een grover slijppoeder boort, tot een zekere korrelgrootte van het poeder, bepaald door de trillingsamplitude. Het artikel bevat uitvoerige kwantitatieve gegevens over de gemeten boorsnelheid in allerlei metalen en brosse materialen (glas, gesinterde carbides, mineralen, enz.) bij gebruik van verschillende gereedschappen en verschillende slijppoeders van uiteenlopende korrelgrootte; afhankelijk van deze factoren varieert de boorsnelheid van enige honderdste mm tot enige mm per minuut. De slijtage van de boor wordt eveneens kort besproken. De te bereiken nauwkeurigheid hangt van de korrelgrootte van het slijppoeder en de mechanische precisie van de boormachine af; ze wordt door twee voorbeelden geïllustreerd (men komt tot een nauwkeurigheid van de orde van 0,01 mm). Ten slotte wordt het verband tussen de verkregen oppervlaktegladheid enerzijds en de korrelgrootte en trillingsamplitude anderzijds beschouwd.

Voor de bewerking van harde, elektrisch niet-geleidende materialen kan geen enkele methode het tegen de ultrasone bewerking opnemen. In het geval van elektrisch geleidende materialen werken sommige elektro-erosiemethodes sneller, maar de ultrasone methode wint het dan nog in de nauwkeurigheid en de gladheid van het oppervlak.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2391: G. W. van Oosterhout: A rapid method for measuring coercive force and other ferromagnetic properties of very small samples (Appl. sci. Res. **B6**, 101-104, 1956, no. 1-2).

Beschrijving van een methode om de coërcitieve veldsterkte en het magnetische moment te bepalen van ferromagnetische materialen waarvan men slechts kleine monsters (van ca. 1 mg) beschikbaar heeft (b.v. van langs elektrochemische weg in het laboratorium bereide monsters). De methode bestaat hierin, dat men met een gevoelige buisvoltmeter de wisselspanning meet die wordt opgewekt in een spoeltje als men daarin het te onderzoeken monster laat trillen (aandrijving via een luidsprekersysteem). Deze wisselspanning is evenredig met het magnetische moment van het monster. De coërcitieve veldsterkte wordt bepaald door de veldsterkte te meten die nodig is om, uitgaande van de verzadigingsmagnetisatie, de magnetisatie te doen verdwijnen. Men bepaalt aldus $_IH_c$, d.w.z. de coërcitieve veldsterkte die betrekking heeft op de magnetisatie I (en dus niet op de magnetische inductie). Om het magnetische moment van het monster te bepalen, vergelijkt men de opgewekte wisselspanning met die welke wordt opgewekt door een monster van dezelfde afmetingen, en waarvan men het magnetische moment kent. De uitvoering van een meting van $_IH_c$ duurt ca. 2 minuten.

2392: J. J. Opstelten, N. Warmoltz en J. J. Zaalberg van Zelst: A direct-reading double-sided micromanometer (Appl. sci. Res. **B6**, 129-136, 1956, no. 1-2).

Beschrijving van een toestel voor het continu meten (en eventueel registreren) van kleine drukverschillen. Aan weerszijden van een niet-roestend stalen membraan (dikte 20 μ) dat twee ruimten scheidt, is op een afstand van 25 μ een condensatorplaat opgesteld. De twee aldus gevormde condensatoren maken deel uit van een wisselstroombrug, welke wordt gevoed door een oscillator met een frequentie van 0,5 MHz. Tussen de condensatorplaten enerzijds en het membraan anderzijds staat een gelijkspanning. Onder invloed van een drukverschil wordt het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

membraan uit de evenwichtsstand gedrukt. De brugspanning die dan ontstaat, wordt, na versterking en gelijkrichting, teruggevoerd naar de beide condensatorplaten: van de ene plaat wordt de gelijkspanning verhoogd, van de andere verlaagd, en wel zodanig dat de resulterende elektrostatische kracht welke thans op het membraan werkt, het membraan nagenoeg in de evenwichtsstand terugbrengt. De gelijkgerichte brugspanning wordt dan een lineaire maat voor het gezochte drukverschil. Aldus kan men drukverschillen meten van 10^{-5} tot 0,5 mm Hg. De aanwijzing is onafhankelijk van de aard van het gas. De onderdelen die in contact komen met dit gas, zijn vervaardigd van corrosievaste materialen; men kan het apparaat derhalve voor vrijwel alle gassen gebruiken.

2393: H. B. G. Casimir: Anticipations — a continental view of physics and its future (Phys. Today **9**, no. 4, 13-16, april 1956).

Eén van een drietal toespraken over „Toekomstverwachtingen in de natuurkunde" welke werden gehouden ter gelegenheid van het 25-jarige jubileum van het „American Institute of Physics", dat in februari 1956 te New York werd gevierd. De auteur tracht de oorzaken op te sporen die de verschuiving van het zwaartepunt van het natuurkundig onderzoek van Europa naar Amerika tot gevolg hebben gehad, en onderwerpt daartoe het Europese systeem van onderzoek en opleiding aan een kritische beschouwing. Wat de natuurkunde in het algemeen betreft, constateert hij, dat de laatste 25 jaar een enorme hoeveelheid detailkennis is vergaard, maar dat men in deze tijd minder succesvol is geweest in het produceren van nieuwe centrale gezichtspunten die vergelijkbaar zouden zijn met de opstelling van de elektromagnetische grondwetten of met de conceptie van de quantumtheorie.

2394: P. C. van der Willigen en L. F. Defize: CO_2-booglassen van staal (Lastechniek **22**, 69-77, 1956, no. 5L).

Booglassen in een CO_2-atmosfeer kan met succes worden toegepast op alle soorten ongelegeerd staal en, volgens het hier gepubliceerde onderzoek, ook op ongekalmeerd staal, indien het gebruikte draad de vereiste desoxyderende stoffen in voldoende mate en in de juiste verhouding bevat. Besproken wordt de merkwaardige druppelovergang bij lassen met de elektrode aan de pluspool; deze werd bestudeerd met behulp van een snelle filmcamera. Door de overzichtelijkheid van het gehele lasproces kunnen op eenvoudige wijze kwantitatieve metingen worden verricht, waaruit men een goed beeld krijgt van de reacties die optreden. Het blijkt dat lassen in CO_2 veel lijkt op lassen in argon + ca. 9% zuurstof, behalve wat het gedrag van koolstof betreft: bij het CO_2-booglassen is het C-percentage van het neergesmolten metaal steeds ongeveer 0,08%. Met het oog op de invloed op de lasser werd uitvoerig nagegaan hoeveel CO vanuit de boogatmosfeer onverbrand in de lucht komt; dit bleek niet verontrustend te zijn. Behalve door zijn goedkoopte is het CO_2-booglassen ook aantrekkelijk doordat waterstof afwezig is, het stikstofgehalte van de las laag gehouden kan worden, een te korte of een te lange boog niet de bezwaren geeft die bij het gebruik van argon optreden, en, ten slotte, de inbranding diep en U-vormig is. Ten gevolge van dit laatste kunnen door middel van CO_2-booglassen stompe I-naden zonder voorbewerking worden gelast met een relatief klein stroom- en draadverbruik. Bij stijve werkstukken moet men oppassen voor al te diepe inbranding, daar hierdoor inwendige scheuren kunnen ontstaan; de verhouding van inbrandingsdiepte tot lasbreedte is hiervoor bepalend. Ten gevolge van de merkwaardige druppelovergang, de gewenste zeer korte boog en het snelle voortlopen, is het CO_2-lassen meer geschikt voor geheel automatisch lassen dan voor handlassen met behulp van een laspistool. Door de zelf regulerende eigenschappen van de boog zijn elektronische of andere regelinrichtingen niet noodzakelijk.

2395: H. Rinia: Optics in television (Problems in contemporary optics, Verslagen van het congres, gehouden 10-15 sept. 1954 te Florence in het „Istituto Nazionale di Ottica", uitgegeven in 1956, blz. 492-507).

Overzichtsartikel, waarin vele kwesties en problemen worden aangestipt die zich voordoen in de zwart-wit- en in de kleurentelevisie, en die het gemeenschappelijke kenmerk vertonen dat er een optisch facet aan te onderscheiden is. Er komen kwesties ter sprake die lenzen en andere afbeeldingssystemen betreffen, maar ook kwesties betreffende helderheid, contrast, flikkeren, definitie enz. Aan het slot van het artikel worden enige voorbeelden genoemd waar de televisietechniek te hulp kan worden geroepen om optische of fotografische problemen op te lossen, b.v. om een positief beeld te verkrijgen van een negatief. Ook het „fotograferen" van onvoorspelbare verschijnselen met een televisiecamera in combinatie met een magnetische band wordt genoemd. Men gebruikt de band telkens weer totdat men het gezochte verschijnsel heeft „gevangen" en vermijdt aldus een eindeloze verspilling van fotografisch materiaal.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 306: H. G. van Bueren: Influence of lattice defects on the electrical properties of cold-worked metals (Philips Res. Rep. **12**, 1-45, 1957, no. 1).

Dit proefschrift (Leiden, juli 1956) begint met een overzicht van de fysische eigenschappen van dislocaties, vacatures en interstitiële atomen in de kubisch vlakkengecentreerde metalen koper, zilver en goud. Daarna volgt een theoretische studie over het mechanisme der plastische vervorming in dergelijke metalen, met het doel numerieke gegevens te verkrijgen over de concentraties der genoemde storingen zoals deze na koudvervorming in de genoemde metalen aanwezig zijn. Door de resultaten van metingen van de elektrische weerstand van licht vervormde koper- en zilverdraden te vergelijken met de theorie wordt inzicht verkregen in diverse details van het deformatiemechanisme. Metingen van de elektrische weerstand in een magneetveld maken het mogelijk de invloed van dislocaties te scheiden van die van vacatures en interstitiële atomen. Deze metingen, in combinatie met waarnemingen betreffende het thermische herstel van het elektrische geleidingsvermogen na koudvervorming — een herstel dat in vier trappen geschiedt —, leveren gegevens omtrent de diffusie van de drie soorten roosterstoringen en omtrent hun vermogen om elektronen te verstrooien.

R 307: J. Haantjes en G. J. Lubben: Errors of magnetic deflection, I (Philips Res. Rep. **12**, 46-68, 1957, no. 1).

Theoretisch onderzoek naar de afbeeldingsfouten die optreden in een televisieweergeefbuis, voor zover deze fouten worden veroorzaakt door een magnetisch afbuigsysteem voor de elektronenbundel. Geheel als bij de lichtoptiek treden als fouten op: vertekening, astigmatisme, beeldkromming en coma. Aangetoond wordt dat al deze fouten door de veldverdeling in het afbuigende veld worden beïnvloed en dat men ze, uitgezonderd de beeldkromming, ieder afzonderlijk kan opheffen door de veldverdeling geschikt te kiezen. Het onderzoek verschaft aldus inzicht in de wijze waarop men kan trachten alle fouten zoveel mogelijk tegelijk op te heffen. De beeldkromming, die men dus langs deze weg niet kan opheffen, zou geen bezwaar opleveren indien men de kromming van het scherm gelijk aan de beeldkromming kon maken. Helaas is dit in het algemeen niet mogelijk. Bij het ontwerpen van televisieweergeefbuizen zal men derhalve op het overblijven van deze fout bedacht moeten zijn.

R 308: K. F. Niessen: Spontaneous magnetization and magnetic susceptibilities of an antiferromagnetic with foreign ions in both sublattices (Philips Res. Rep. **12**, 69-81, 1957, no. 1).

De spontane magnetisatie wordt berekend als functie van de temperatuur voor een antiferromagnetisch materiaal waarvan wordt verondersteld dat in elk van de twee deelroosters een (voor de twee roosters verschillende) fractie van de oorspronkelijke ionen is vervangen door andere metaalionen, die een afwijkend magnetisch moment bezitten. Om de berekening numeriek te kunnen uitvoeren voor een praktisch geval, zou men de Néel-temperaturen moeten meten van het materiaal, evenals die van het materiaal als daarin nog geen vervanging van ionen heeft plaatsgehad. Bij de bereiding zal men wel het totale aantal substitutie-ionen kunnen vastleggen, maar hoe de verdeling over de beide roosters zal zijn, weet men nog niet. Deze verhouding zal men echter te weten kunnen komen door de spontane magnetisatie te meten als functie van de temperatuur, daar men hiervoor ook een theoretische uitdrukking kan afleiden. Bovendien kan men de susceptibiliteiten parallel aan, resp. loodrecht op, de richting van de spontane magnetisatie meten als functie van het aantal gesubstitueerde ionen, en ook deze resultaten met de theoretische vergelijken.

R 309: B. H. Schultz: Storage of injected carriers at surfaces of germanium (Philips Res. Rep. **12**, 82-96, 1957, no. 1).

Van de ladingsdragers die zich bevinden in een germaniumkristal wanneer hierin de concentraties van de ladingsdragers boven de evenwichtswaarden worden gehouden (b.v. door absorptie van licht), bevindt zich een fractie aan het oppervlak. Deze fractie wordt berekend met behulp van de normale ruimteladingstheorie. De invloed die de berging van lading aan het oppervlak heeft op de relaxatie van het fotogeleidingsvermogen, wordt besproken. De relaxatietijd τ_{rel} werd gemeten aan dunne germaniumplaatjes als functie van de dikte dezer plaatjes. De metingen werden uitgevoerd aan plaatjes van *n*- en van *p*-germanium en in verschillende gassen. De meetresultaten stemmen kwalitatief overeen met de theorie. Voor plaatjes waarin de ladingsberging aan het oppervlak groot is, neemt τ_{rel} toe als de dikte afneemt; bovendien blijkt dan τ_{rel} sterk afhankelijk te zijn van de afwijking van de evenwichtsconcentratie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!